



Planbureau voor de Leefomgeving

# KORTE MODELBESCHRIJVING SAVE-PRODUCTIE

**Notitie**

**PBL**

**2 december 2019**

PBL

## **Colofon**

### **Korte modelbeschrijving SAVE-Productie**

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2019

PBL-publicatienummer: 4033

## **Contact**

[Bert.Daniels@pbl.nl](mailto:Bert.Daniels@pbl.nl), [hans.elzenga@pbl.nl](mailto:hans.elzenga@pbl.nl)

## **Auteurs**

Marit van Hout, Wouter Wetzels (TNO), Bert Daniëls

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Marit van Hout, Wouter Wetzels, Bert Daniëls (2019), Korte modelbeschrijving SAVE-Productie, Den Haag: PBL

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is voor alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

# Inhoud

|          |                                                                              |           |
|----------|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Korte modelbeschrijving</b>                                               | <b>5</b>  |
| 1.1      | Inleiding                                                                    | 7         |
| 1.2      | Wat zit er in?                                                               | 7         |
| 1.3      | Werking                                                                      | 9         |
|          | 1.3.1 Vertaling van economische groeiscenario's naar fysieke groeiscenario's | 9         |
|          | 1.3.2 Hoofdmodules                                                           | 9         |
|          | 1.3.3 Module voor energievraag                                               | 9         |
|          | 1.3.4 Module voor inzet decentrale WKK                                       | 13        |
| 1.4      | Belangrijkste invoergegevens                                                 | 16        |
| 1.5      | Beperkingen en verdere ontwikkeling                                          | 17        |
|          | <b>Referenties</b>                                                           | <b>18</b> |

# 1 Korte modelbeschrijving

## Belangrijke begrippen en afkortingen

- **CBS:**  
Centraal Bureau voor de Statistiek.
- **CCS/U:**  
Carbon Capture & Storage/Utilization.
- **COMPETES:**  
Europees elektriciteitsmarktmodel (onderdeel NEV-RS).
- **Dematerialisatie:**  
Ontkoppeling van economische groei en groei van de fysieke productie.
- **Economische groei van een sector:**  
Het SAVE-productie model gebruikt de groei van de productiewaarde als maat voor de economische groei van een sector.
- **EIA:**  
Energie-investeringsaftrek.
- **Energiedrager:**  
Energieverbruik vindt plaats in de vorm van verbruik van energiedragers, zoals kolen, aardgas of warm water. Er wordt onderscheid gemaakt naar primaire dragers van energie (zoals aardgas) en secundaire dragers van energie (zoals elektriciteit en warmte).
- **Energiefunctie:**  
Toepassing van energie voor een bepaald doel of functie (zoals ruimteverlichting of het drogen van materialen).
- **Energiebesparing:**  
Er is sprake van energiebesparing als voor een bepaalde energiefunctie (of een aggregaat daarvan) na het nemen van een maatregel minder energie nodig is. Als de daling van het energiegebruik veroorzaakt wordt door een verandering in de samenstelling van het product (of een groep producten), dan wordt dat niet als energiebesparing maar als een structureffect beschouwd.
- **Energierelevante grootheid:**  
De energierelevante grootheid is de grootheid welke direct bepalend wordt geacht voor het verbruik bij afwezigheid van energiebesparing.
- **Fysieke groei**  
Groei van de fysieke productie (bijvoorbeeld uitgedrukt in ton staal of ton papier).
- **Interne-opbrengstvoet:**  
De interne-opbrengstvoet (internal rate of return) is een maatstaf voor het rendement van (potentiële) investeringen zoals gezien door de investeerder.
- **Klimaatcorrectie:**  
Correctie van het energieverbruik voor trends in het klimaat.
- **Marktpenetratie techniek:**  
Het percentage van de bedrijven in een sector dat de betreffende techniek toepast.
- **MONIT-Conversie:**

Tool die de energiebesparing per sector bepaalt en de resultaten van het NEV-RS aggregeert.

- **NEV-RS:**  
Nationale Energie Verkenning–Rekensysteem.
- **RESOLVE-E:**  
Model voor de hernieuwbare energieproductie in Nederland (onderdeel NEV-RS).
- **SAVE-Productie:**  
Simulatie en Analyse van Energieverbruik en Productie.
- **SDE+:**  
Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie.
- **SELPE:**  
Model dat de consistentie analyseert van de resultaten van de deelmodellen in het NEV-RS en er voor zorgt dat vraag en aanbod van energie in evenwicht zijn.
- **STEG:**  
StoomTurbine En Gasturbine.
- **Referentieverbruik:**  
Het referentieverbruik weerspiegelt het energieverbruik als er geen sprake zou zijn geweest van energiebesparing.
- **Volumegrootheid:**  
Indicator van de omvang van de sociaal-economische activiteiten waarvoor energie nodig is.
- **Volumeverbruik:**  
Verbruikontwikkeling conform de sociaal-economische volumegrootheden.
- **WKK:**  
Warmtekrachtkoppeling.

## 1.1 Inleiding

### *Wat staat in deze modelbeschrijving?*

Deze modelbeschrijving geeft een overzicht op hoofdlijnen van de toepassing, de opbouw, de werking, de aannames, beperkingen en de verdere ontwikkeling van het SAVE (Simulatie en Analyse Van Energiegebruik)–Productie model.

### *Doel van het model*

Het SAVE-Productie model, dat onderdeel is van het Nationale Energie Verkenning-Rekensysteem (NEV-RS) (ECN, 2013), heeft als doel om ramingen te maken van het energieverbruik en de energiebesparing van de Nederlandse industrie en landbouw. Daarnaast maakt het model ramingen van het opgesteld vermogen en de inzet van decentrale warmtekrachtkoppeling (WKK) eenheden, niet alleen in de industrie en de landbouw, maar ook bij de raffinaderijen en in de dienstensector.

### *Aard van het model*

SAVE-Productie is oorspronkelijk rond 1990 ontwikkeld om (besparing op) de warmte- en elektriciteitsvraag van de industrie en de landbouw te modelleren. Rond 2003 is het samengevoegd met drie andere deelmodellen: grootschalige WKK, kleinschalige WKK, en een model voor de vertaling van de warmtevraag naar de brandstofinzet. Daarmee werd het een model dat vrijwel de gehele energiehuishouding van de industrie en de landbouw omvat. Het is ontworpen om de te verwachten ontwikkeling van het energieverbruik en de toepassing van besparingstechnieken, zoals warmteterugwinning of efficiëntere verlichting, zo goed mogelijk te benaderen, en om daarbij rekening te houden met de invloed van allerlei factoren zoals economische ontwikkelingen, beleid, energieprijzen en investeerdersgedrag. Het model simuleert op jaarbasis voor een gedefinieerde set aan historische jaren en toekomstige jaren.

### *Resultaten en voorbeelden van studies*

SAVE-Productie wordt voornamelijk toegepast op verzoek van de Rijksoverheid om te voorzien in kwantitatieve analyses van de industrie- en de landbouwsector rond energievraagstukken en evaluaties van (beoogd) beleid. De belangrijkste toepassing van het model is voor de Nationale Energieverkenning (NEV) die van 2014 tot 2017 jaarlijks is verschenen, en de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) die vanaf 2019 jaarlijks verschijnt. Het model kan effecten berekenen van nationaal energiebeleid op het energieverbruik en de bijbehorende directe CO<sub>2</sub>-emissies van bedrijven.

Het model wordt incidenteel ook voor andere onderzoeksvragen ingezet, vaak gericht op het bepalen van het effect van specifieke beleidsmaatregelen of andere ontwikkelingen: hogere CO<sub>2</sub>-prijzen, subsidies, ondersteuning WKK etc. (o.a. Koutstaal et al., 2012; Daniëls & Koelemeijer, 2016) of het onderzoeken van het WKK-potentieel in bepaalde sectoren (Wetzels et al., 2009 en Dijkstra, 2010).

## 1.2 Wat zit er in?

### *De ingrediënten*

Het model onderscheidt sectoren, energiefuncties (zoals verlichting), zicht- en constructiejaren, diverse energiedragers (zoals aardgas) en technieken, zowel voor de energievraag als het -aanbod (zoals WKK en ketels). Verder omvat SAVE-Productie de belangrijkste subsidie-regelingen die van toepassing zijn op de industrie en de landbouw, zoals de Energie Investeringsaftrek (EIA). Specifiek voor WKK houdt het model rekening met het gevraagd vermogen per proces of locatie en de bedrijfsuren van processen.

Het model onderscheidt geen individuele bedrijven, hoewel in een beperkt aantal gevallen een specifieke sector vrijwel geheel samenvalt met een individueel bedrijf. Het is een nationaal model dat geen regio's onderscheidt.

#### *Sectoren*

SAVE-Productie onderscheidt 51 subsectoren binnen de industrie en de landbouw, zoals de kunstmestindustrie, de intensieve plantenteelt in de glastuinbouw en de industriële bakkerijen. Ook de bouwsector is onderdeel van het model.

#### *Energiedragers*

Het model onderscheidt de belangrijkste conventionele energiedragers in de industrie en landbouwsector, zoals aardgas, elektriciteit, olie en kolen, en daarnaast de hiervan afgeleide energiedragers zoals restgassen, cokes en diverse olieproducten.

#### *Jaren*

Alle startparameters in het SAVE-Productie model zijn bepaald voor het basisjaar. Het model simuleert de ontwikkeling van het energieverbruik voor historische jaren en wordt daarbij geijkt op de jaarlijkse energiebalans van het CBS (zie ook Tabel 1). De ramingen in de KEV lopen meestal tot 2030, maar het is mogelijk om de ramingen in het model verder door te trekken.

#### *(Besparings-)technieken*

De vraag naar energie per eenheid product wordt sterk bepaald door de technieken die worden toegepast. Het model onderscheidt twee typen technieken: de technieken die tot een besparing leiden (bijvoorbeeld LED verlichting) en referentietechnieken (bijvoorbeeld standaard verlichting). In het SAVE-Productie model zitten meer dan 300 technieken die grotendeels zijn gebaseerd op de ICARUS-4 database (Alsema, 2000). Deze technieken worden geactualiseerd wanneer nieuwe informatie beschikbaar is. Voor de toekomst (vanaf 2020-2025) werkt het model vanwege beperkt beschikbare informatie vooral met generieke technieken die een vergelijkbaar besparingstempo als in het verleden mogelijk maken.

#### *Energieaanbod, WKK-installaties*

De energetische vraag in de vorm van warmte en/of elektriciteit, is naast o.a. het verbruik van grondstoffen (feedstocks) belangrijk voor het in kaart brengen van de energiebehoefte. Voor het opwekken van die energie gebruikt het model aanbodtechnieken, zoals ketels en WKK. In het model worden de volgende typen WKK-installaties onderscheiden:

- Stoomturbine
- Stoomturbine En Gasturbine (STEG)
- Gasturbine
- Gasmotor

Deze WKK-types hebben verschillende technische en economische eigenschappen. De eigenschappen hangen af van de capaciteit van de installatie. Behalve voor de industrie en landbouw berekent het model de toepassing van WKK ook voor de dienstensector en de raffinaderijen.

#### *Wat is warmtekrachtkoppeling?*

Bij warmtekrachtkoppeling, oftewel de gelijktijdige productie van warmte en elektriciteit (cogeneratie), wordt de vrijgekomen warmte bij de productie van elektriciteit benut.

*Wat is het verschil tussen decentraal en centraal WKK-vermogen?*

Het centraal en decentraal WKK-vermogen wordt door het CBS onderverdeeld op basis van de netwerkconnectie. Wanneer een warmtekrachteenheid is aangesloten op het hoogspanningsnetwerk wordt het gedefinieerd als een centrale, en wanneer een eenheid is aangesloten op een bedrijfsnetwerk of het midden-of laagspanningsnetwerk, dan wordt een eenheid gedefinieerd als decentraal vermogen. SAVE-Productie modelleert alleen de decentrale eenheden. Het Europese elektriciteitsmarktmodel COMPETES modelleert de centrale warmtekrachtproductie. Ook COMPETES is onderdeel van het NEV-RS.

*Beleid*

SAVE-Productie onderscheidt verschillende soorten beleid, zoals heffingen, subsidies, verboden en verplichtingen en belastingvrijstellingen (zoals de energiebelasting-vrijstelling voor WKK).

## 1.3 Werking

### 1.3.1 Vertaling van economische groeiscenario's naar fysieke groeiscenario's

De ontwikkeling van het energieverbruik in de toekomstige jaren wordt grotendeels bepaald door een (exogeen) economisch groeiscenario (Schoots et al., 2017). Het model vertaalt de sectorale economische groeiverwachtingen in fysieke groeiverwachtingen. Die fysieke groeiverwachtingen worden gebruikt voor de simulatie van het energieverbruik in sectoren. In sommige sectoren – bijvoorbeeld de staalindustrie – wordt het fysieke groeiscenario niet afgeleid van de economische groeiverwachting, maar direct gebaseerd op prognoses voor het productievolume. Of dit mogelijk is, is mede afhankelijk van de beschikbaarheid van informatie vanuit bedrijven.

De fysieke groeiverwachting kan weergegeven worden als de productiehoeveelheid (bijvoorbeeld tonnen staal) of meer abstract als een index (basisjaar = 100%). De fysieke groothen bepalen de vraag naar energie-functies (bijvoorbeeld drogen, smelten of verlichting).

### 1.3.2 Hoofdmodules

Het model bestaat uit twee hoofdmodules. De eerste module berekent voor de verschillende sectoren van de industrie en de landbouw voor elk zichtjaar de toepassing van (besparings-)technieken en de effecten van beleid (zoals subsidies) op het energieverbruik. Daarbij wordt uitgegaan van fysieke groeiscenario's (zoals de ontwikkeling van het productievolume van papier in de papiersector). De tweede module berekent de ontwikkeling van het opgesteld vermogen en de inzet van decentrale warmtekrachtinstallaties. Het gaat niet alleen om WKK in de industrie en landbouwsector, maar ook om WKK bij raffinaderijen en in de dienstensector.

De warmtevraag uit de eerste module, tezamen met de gegevens over de warmtelevering uit overige sectoren zoals van afvalverbranding, bepaalt het technische potentieel voor decentrale WKK. De eigen elektriciteitsvraag kan daarbij ook – meestal gedeeltelijk – ingevuld worden met WKK.

### 1.3.3 Module voor energievraag

De manier waarop energiefuncties, zoals de energiefunctie 'verlichten' in de glastuinbouw, met een bepaalde (mix van) technieken worden ingevuld bepaalt hoe efficiënt en met welke mix van energiedragers dat gebeurt. Hieruit resulteert een bepaalde vraag naar warmte, elektriciteit, brandstoffen en grondstoffen. Hierbij wordt een klimaatcorrectie toegepast.



*Wat is klimaatcorrectie?*

De voortschrijdende stijging van de gemiddelde temperatuur leidt tot een trendmatige afname van de vraag naar (ruimte)verwarming en een toename van de vraag naar koeling. Aan de hand van graaddagen uit de KNMI-klimaatscenario's (de jaarsom van het aantal graden dat de daggemiddelde temperatuur onder de 18° Celsius ligt over alle dagen met een daggemiddelde temperatuur lager dan 18° Celsius) kan het energieverbruik gecorrigeerd worden voor trends in het klimaat.

*Hoe wordt de marktpenetratie van (besparings-)technieken bepaald?*

SAVE-Productie modelleert de ingroei van technieken aan de hand van een S-curve benadering; een methode die de verschillende stadia van de ingroei van een techniek beschrijft en vaak wordt toegepast voor dergelijke simulaties en analyses. De S-curve houdt rekening met de variatie in individuele situaties en de variatie in de criteria die individuele investeerders hanteren. Bij de uitrol van een techniek over een bepaald tijdspad spelen de volgende stadia een rol, zoals beschreven in Hekkert et al. (2011):

1. De (voor)ontwikkelingsfase: ontwikkeling van een prototype en commerciële introductie op de markt.
2. De startfase ('take-off'): de techniek wordt opgepakt door innovatieve bedrijven.
3. De versnellingsfase: de techniek heeft zichzelf 'bewezen' en wordt door steeds meer bedrijven toegepast.
4. De stabilisatiefase: de techniek wordt breed toegepast en de groei vlt af door verzadiging van de markt.

De modellering in SAVE-Productie omvat de fases 2-4. De duur van deze fases is voor verschillende technieken niet gelijk en hangt van meerdere factoren af, zoals de innovatiebereidheid in een bepaalde sector.

Voor de simulatie van de ingroei van technieken zijn de volgende economische en niet-economische parameters van belang:

- Kosten: investeringen, beheer en onderhoud, energiekosten, CO<sub>2</sub>-emissies in combinatie met CO<sub>2</sub>-prijzen of -heffingen, belastingen, leningen
- Het door de investeerder vereiste rendement
- De technische levensduur van een techniek
- Subsidies
- Aandeel innovatoren per sector
- Maximale marktpenetratie
- Interacties tussen technieken:
  - Andere technieken kunnen het besparingspotentieel beïnvloeden.
  - Bepaalde technieken zijn verwant waardoor er leereffecten ontstaan en de techniek die op een later moment wordt geïntroduceerd sneller kan ingroeien.
  - Bepaalde technieken zijn vervangingstechnieken die de toepassing van de voorgaande techniek automatisch stopzetten.

SAVE-Productie houdt dus rekening met interacties tussen energiebesparende technieken. Wanneer er meerdere besparende technieken op een enkele energiefunctie van toepassing zijn, verminderen deze technieken vaak elkaars besparingseffect in absolute termen. Denk daarbij bijvoorbeeld aan twee isolatiemaatregelen die van toepassing zijn op hetzelfde warmteverlies: daarbij is het gezamenlijke effect lager dan de som van de effecten van de afzonderlijke maatregelen. Omdat deze interacties afhangen van de actuele techniekmix berekent het model het besparingspotentieel per techniek in ieder simulatiejaar opnieuw.

Nadat het besparingspotentieel per techniek is bepaald, simuleert het model techniekeuzes op basis van (gemiddelde) attractiviteitsscores. In deze scores spelen zowel economische als niet-economische factoren een rol. De attractiviteitsscore van referentietechnieken, zoals standaard verlichting in de glastuinbouw, is gelijk aan 1. Voor het berekenen van de attractiviteitsscores per techniek worden diverse parameters bepaald. Dat wordt hieronder toege-licht.

### 1) *Economische factoren*

De Netto Contante Waarde (NCW) is de belangrijkste maat voor de economische aantrekke-lijkheid. Het is de som van alle veranderingen in inkomsten en uitgaven die samenhangen met een investering, inclusief de investering zelf. Toekomstige inkomsten en uitgaven wor-den hierbij verdisconteerd met de rendementseisen van de investeerder, wat betekent dat ze minder zwaar meetellen naarmate ze verder in de toekomst liggen. Onderstaande formule beschrijft de berekening van de NCW van een investering.

$$NCW = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+i)^{t}}$$

Waarin:

- $C_t$ : de netto cashflow in jaar  $t$  in euro's per jaar (dit is inclusief de investering in het eerste jaar);
- $i$ : de rentevoet;
- $t$ : het jaar waarvoor de berekening wordt uitgevoerd;
- $T$ : het laatste jaar van de periode waarvoor de NCW wordt berekend.

De interne-opbrengstvoet (internal rate of return) is een maatstaf voor de rentabiliteit van een investering vanuit het oogpunt van de investeerder. De interne-opbrengstvoet is gedefi-nieerd als de rentevoet ( $i$ ) waarvoor de NCW, berekend over de hele periode, gelijk is aan nul. Per sector geldt een vereist rendement op basis van de gangbare economische criteria. Wanneer de interne-opbrengstvoet van een techniek groter is dan het vereiste rendement zal dit een positief effect hebben op de attractiviteitsscore van een techniek. Het vereiste rendement in een sector hangt mede af van hoe risico-avers een sector is.

Kosten waar het model rekening mee houdt zijn o.a. de investeringskosten, energiekosten (incl. transport- en distributiekosten), eventuele kosten van CO<sub>2</sub>-emissierechten, beheer- en onderhoudskosten, belastingen en financieringskosten. De netto investeringskosten voor het bedrijf hangen af van eventuele subsidies zoals de Energie-Investeringsaftrek (EIA). Onder de baten vallen bijvoorbeeld de vermeden energiekosten ten gevolge van de reductie van de energievraag. Een deel van de investering kan worden gefinancierd via een lening. Er wordt rekening gehouden met afbetaling van de lening en rentebetalingen.

### 2) *Barrières*

De marktpenetratie van nieuwe technieken kan worden afgeremd door barrières die samen-hangen met bijvoorbeeld onbekendheid en onzekerheid van risico's en baten van technieken. Vooral innovatieve bedrijven zullen bereid zijn risico's te nemen. Het aandeel innovatieve be-drijven verschilt per sector. Hoe hoger het aandeel innovatieve bedrijven, hoe sneller de marktpenetratie van een bepaalde techniek in de beginfase. Nadat een techniek zich breder bewezen heeft zal deze remmende factor naar de achtergrond verdwijnen. Wanneer een nieuwe techniek voortbouwt op een bestaande techniek dan kan de nieuwe techniek in de beginfase sneller ingroeien.

Als de toepassing de maximale marktpenetratie nadert, zal de groei weer afnemen door ver-zadiging van de markt. Soms is de maximale technologische marktpenetratie kleiner dan 100

procent, bijvoorbeeld doordat enkele bedrijven te klein zijn om een bepaalde techniek toe te passen.

### 3) Calibratiefactoren

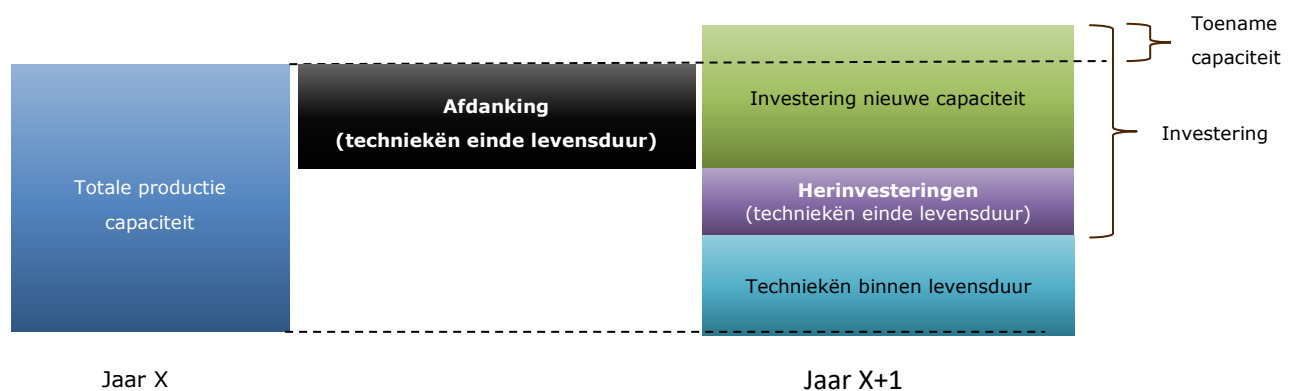
Calibratiefactoren zijn parameters waarmee de modelgebruiker de veronderstelde bereidheid om te investeren, kan bijstellen. Een reden kan bijvoorbeeld zijn dat convenantafspraken leiden tot een positievere houding van bedrijven tegenover besparende technieken. Hoewel het convenant niets verandert aan de economische aantrekkelijkheid of de risico's van de specifieke techniek, is er toch een grotere bereidheid om bepaalde technieken toe te passen. De calibratiefactor van technieken staat standaard op 1. Wanneer er redenen zijn om investeringen in bepaalde technieken meer of minder aantrekkelijk te maken kan de calibratiefactor aangepast worden om investeringen af te remmen of juist te stimuleren. Het model rekent ook historische jaren door, en de gebruiker kan daardoor het model ook calibreren aan de hand van historisch beschikbare informatie over energiegebruik en emissies, besparingen (rapportage convenanten), subsidieuitgaven etc.

#### *Hoe berekent SAVE-Productie het totaal opgesteld productievermogen?*

De investeringsbeslissingen in een bepaald jaar hebben betrekking op die productiecapaciteit waarvoor in dat jaar een (her)investering aan de orde is, bijvoorbeeld bij nieuwbouw of vervanging van installaties.

Het model berekent de totale investeringen in nieuwe technieken en de des- en herinvesteringen. De procedure houdt de leeftijd van de opgestelde productiecapaciteit en de daarin toegepaste technieken bij in een jaargangenmodule, en berekent wanneer technieken vervangen moet worden en/of er nieuwe investeringen nodig zijn (Figuur ). Het model gaat daarbij uit van een normale verdeling rond de maximale levensduur. Nadat het model heeft bepaald welke technieken welke energiefuncties invullen berekent het de finale vraag naar elektriciteit, stoom en warmte voor het betreffende jaar.

In een aantal gevallen is er geen sprake van een duidelijk natuurlijk moment om een maatregel toe te passen, bijvoorbeeld bij energiemanagementsystemen en bepaalde retrofitechnieken. Deze kunnen technisch gezien op elk moment worden toegepast, onafhankelijk van vervangingscycli van bestaande technieken. De modellering gaat in dit geval uit van een veronderstelde frequentie waarmee bedrijven toepassing van dit soort maatregelen overwegen (bijvoorbeeld aansluitend bij onderhoudscycli). Het is immers niet waarschijnlijk dat bedrijven dit elk jaar opnieuw overwegen.

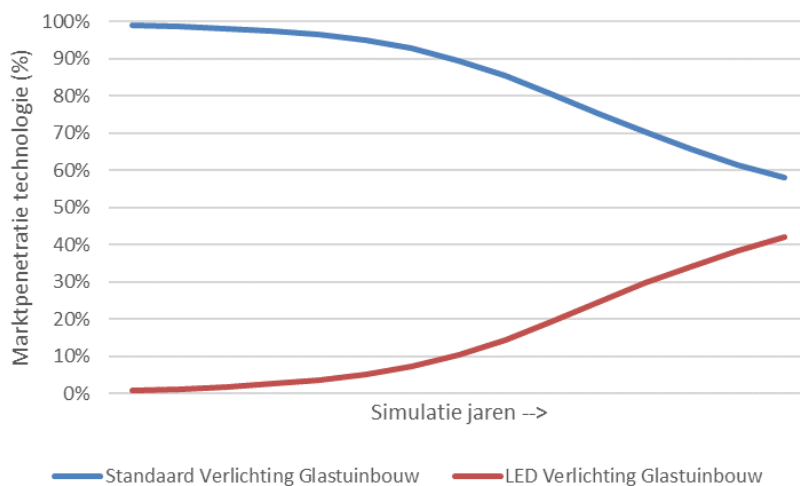


*Figuur 1. Schematische weergave van de investeringsbeslissingen.*

#### *Marktpenetratiegraad van technieken*

De berekeningsmethode geeft dus per sector een jaarlijks overzicht van de technieken die worden toegepast. De marktpenetratie van een techniek is uitgedrukt als een percentage van de bedrijven in een bepaalde sector dat een bepaalde techniek toepast.<sup>1</sup>

Ter illustratie laat Figuur 2 een resultaat van SAVE-Productie zien voor de marktpenetratie van LED verlichting (besparingstechniek) in de glastuinbouw ten opzichte van standaardverlichting (referentietechniek). Hieruit is op te maken dat na een relatief 'rustige' periode waarin de LED techniek door een klein deel van de glastuinders wordt toegepast de marktpenetratie in een versnelling raakt, maar dat de marktpenetratie weer vertraagt wanneer ongeveer 30 procent van de bedrijven de techniek heeft toegepast.



*Figuur 2. Voorbeeld van marktpenetratie van standaard verlichting (referentietechniek) en LED verlichting (besparingstechniek) in de glastuinbouw*

#### 1.3.4 Module voor inzet decentrale WKK

De tweede module van het model berekent de toepassing van decentrale WKK en ketels. Deze module volgt grotendeels dezelfde logica als de module voor de energievraag, maar met een aantal aanpassingen om het karakter van WKK recht te doen. Zo maakt het model gebruik van informatie over individuele bestaande WKK-eenheden uit de WKK-basislijst. Verder is de berekening van de energiebaten van WKK complexer (op basis van elektriciteitsprijzen op uurbasis), maakt het model onderscheid tussen bouw van nieuwe WKK's en herinvesteringen in bestaande WKK's en houdt het model explicieter rekening met de schaal (gevraagd thermisch vermogen) en bedrijfsvoering van de processen (draaiuren).

Met name de (glas)tuinbouwsector en de chemie maken relatief veel gebruik van WKK om de bedrijven in deze sectoren van warmte en elektriciteit te voorzien. De basislijst in SAVE-Productie omvat de opgestelde WKK-eenheden per sector. Bij sectoren met relatief kleine WKK-installaties, zoals de tuinbouwsector, zijn vergelijkbare eenheden geaggregeerd op basis van type, schaalgrootte en efficiëntie. In dat geval omvat een 'eenheid' uit de basislijst meerdere individuele installaties.

De marginale elektriciteitsproductiekosten van decentrale WKK-eenheden bestaan uit onder andere de brandstofkosten<sup>2</sup>, de CO<sub>2</sub> kosten, variabele beheer- en onderhoudskosten minus

<sup>1</sup> Het modelleren van de snelheid van toepassing van technieken in SAVE-Productie is vergelijkbaar met logistische groei en het Bass Diffusion Model (Mahajan et al., 1990).

<sup>2</sup> In SAVE-Productie is aardgas de marginale brandstof voor WKK. Hoewel ook olie residu vanuit de industriële sector als brandstof kan dienen, zijn alle bedrijven in Nederland in principe aangesloten op het aardgasnetwerk. Bio-WKK wordt gemodelleerd in het RESOLVE-E model dat het hernieuwbare aanbod simuleert en dat ook onderdeel vormt van het NEV rekensysteem..

de baten door de vermeden inzet van ketels voor de te produceren warmte en de vermeden kosten voor elektriciteit door eigen opwek. Het model houdt er hierbij rekening mee dat de exploitant over brandstofinzet in WKK geen energiebelasting hoeft te betalen, terwijl dit over brandstofinzet in de ketel wel moet.

Omtrent de productie van warmte en elektriciteit gaat het model uit van twee typen bedrijfsvoering:

- **Must-run eenheden**<sup>3</sup>: deze eenheden produceren altijd elektriciteit wanneer er een in te vullen warmtevraag is en opereren onafhankelijk van de elektriciteitsprijs.
- **Flexibele eenheden**: deze eenheden produceren alleen elektriciteit wanneer de prijs voor elektriciteit hoger is dan de marginale productiekosten van de betreffende eenheid. Met name in de glastuinbouw zijn de WKK-eenheden flexibel. De warmteproductie door WKK wordt afgeleid van het aantal uur in een jaar dat de flexibele eenheden elektriciteit produceren. Voor warmtevraag op momenten dat de WKK niet draait zet het model ketels in.

Op basis van de warmtevraag, gecorrigeerd voor productie door bestaande WKK en externe warmtelevering van bijvoorbeeld afvalverbrandingscentrales, berekent het model hoeveel WKK-vermogen er maximaal bij kan komen. Het model verdeelt eerst de warmtevraag per sector over categorieën voor het gevraagde warmtevermogen en het maximale aantal bedrijfsuren. Voor WKK is deze informatie van belang om te bepalen welk type WKK toepasbaar is, wat de specifieke investeringskosten zijn en wat de operationele kosten en opbrengsten zijn.

De investeringsmodule voor herinvesteringen, afdanking en nieuwe investeringen is vergelijkbaar met de methode in paragraaf 1.3.3. De referentietechniek voor WKK is de gasketel<sup>4</sup>. Voor het berekenen van de interne-opbrengstvoet (internal rate of return) wordt bij de berekening van de cashflows uitgegaan van de toekomstige brandstof- en elektriciteitsprijzen in het gebruikte scenario. Verder zijn baten van de extern afgeleverde of zelf gebruikte warmte en elektriciteit, de investeringskosten en de rentekosten relevant. De levensduur van WKK-eenheden – de tijd tot afdanking of herinvestering – is variabel omdat de levensduur afhangt van het cumulatieve aantal vollasturen. Bij het bereiken van het maximale aantal vollasturen van een WKK berekent het model wat het aantrekkelijkst is: herinvesteren of afdanken. De herinvesteringskosten zijn lager dan de investeringskosten voor nieuwe capaciteit. Een vergelijking van de berekende interne-opbrengstvoet met het vereiste rendement per sector, bepaalt of een (her)investering economisch rendabel is.

#### *Wat zijn de belangrijkste modelresultaten?*

Het SAVE-Productiemodel maakt voor elk jaar een energiebalans voor de industrie en genereert informatie waarmee het mogelijk is om trends in het energieverbruik te analyseren. Verder geeft het informatie over kosten en baten van besparingsmaatregelen.

#### *Energiebalans voor de industrie*

Voor elk simulatiejaar construeert het model na het runnen van de energieverbruiksmodule en de WKK-module de energiebalans conform de indeling van de CBS Energiebalans. In Tabel 1 worden alleen de componenten van de Energiebalans weergegeven die van belang zijn voor SAVE-Productie. Bunkering<sup>5</sup> valt hier bijvoorbeeld niet onder. De onderstaande tabel geeft eveneens een overzicht van de belangrijkste eindresultaten van SAVE-Productie.

<sup>3</sup> Must-run eenheden zijn bijvoorbeeld eenheden die warmte leveren aan een industrieel proces waar de warmtelevering continu dient te zijn. Ook eenheden waarbij het flexibel inzetten van de WKK te veel om handen heeft en/of niet rendabel is, vallen onder de must-run eenheden.

<sup>4</sup> Gasketels worden vaak gebruikt als back-up wanneer een WKK eenheid is uitgevallen of in onderhoud is.

<sup>5</sup> Levering van brandstof voor de internationale lucht- en scheepvaart.

| Component                            | Onderlinge relatie | Omschrijving (CBS Statline)                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Finaal energieverbruik            | A                  | Het door gebruik opmaken van energie. Hierna restteert geen nuttig bruikbare energiedrager. Voorbeeld is het verbranden van aardgas in een warmteketel.                                                                                                                        |
| 2. Niet-energetisch gebruik          | B                  | Betreft het gebruik van een energiedrager voor het maken van een product dat geen energiedrager is, zoals chemische grondstoffen. Voorbeeld is de productie van kunststoffen uit aardolie.                                                                                     |
| 3. Totaal finaal verbruik            | A+B                | -                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 4. Saldo andere omzetting            | C                  | De inzet minus de productie bij de omzetting van energiedragers in een andere brandstof, zoals bij de productie van cokes en aardolieproducten of in alleen warmte (dit is het geval bij bedrijven die warmte afleveren aan een ander bedrijf, exclusief WKK).                 |
| 5. Saldo elektriciteit/WKK-omzetting | D                  | De inzet minus de productie bij de omzetting van energiedragers in alleen elektriciteit of in elektriciteit en nuttig gebruikte warmte samen (warmtekrachtkoppeling, WKK). Warmte heeft de vorm van stoom of warm water.                                                       |
| 6. Totaal saldo energieomzetting     | C+D                | -                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 7. Totaal energieverbruik            | A+B+C+D            | -                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 8. Winning                           | E                  | Betreft het onttrekken van energie aan de natuur. De fossiele energiedragers steenkool, aardolie en aardgas worden gewonnen uit de aarde. Hernieuwbare energiedragers zijn onder andere windenergie en biomassa. Andere energiedragers zijn bijvoorbeeld kernenergie en afval. |

*Tabel 1. Definities van de energiebalans volgens CBS (2018) van de componenten die relevant zijn voor SAVE-Productie.*

#### *Wat is de relatie met andere modellen in NEV-RS?*

SAVE-Productie is onderdeel van het NEV-Rekensysteem (ECN, 2013). Binnen dit systeem communiceert SAVE-Productie met andere energiemodellen om een consistent beeld te maken van de Nederlandse energiehuishouding.

Belangrijk hierbij is de iteratie tussen SAVE-Productie, RESOLVE-E (hernieuwbare energie) en COMPETES (elektriciteitsmarkt). De modellen gebruiken elkaars resultaten als invoer:

- De warmteproductie uit RESOLVE-E - bijvoorbeeld van afvalverbranding en biomassaketels - en COMPETES - bijvoorbeeld van centrale warmtekrachteenheden - wordt ingelezen in SAVE-Productie als externe warmtelevering.
- SAVE-Productie maakt (samen met RESOLVE-E) gebruik van de de elektriciteitsprijzen per uur uit COMPETES, en COMPETES gebruikt de corresponderende inzet van WKK uit SAVE-Productie in de optimalisatie van de elektriciteitsmarkt.

Daarom is het nodig de modellen een aantal keren na elkaar te runnen tot dat elektriciteitsprijzen, toepassing van WKK en toepassing van hernieuwbare energie voldoende stabiel zijn en de modellen een onderling evenwicht hebben bereikt.

Er zijn ook andere voorbeelden van gegevensuitwisseling. SAVE-Productie:

- leest de tariefcomponenten van de eindgebruikerstarieven voor aardgas en elektriciteit in;
- leest de warmtevraag in de raffinage- en dienstensector in;
- levert investeringskosten aan het economiemodel;
- levert de energievraag op basis van volume-, structuur-, klimaat – en besparingseffecten aan MONIT-conversie.
- Levert de vraag naar warmte, elektriciteit en feedstock en de opgestelde vermogens van WKK aan Selpe.

## 1.4 Belangrijkste invoergegevens

Onderstaand overzicht laat de belangrijkste invoergegevens voor het model zien, onderverdeeld naar scenario-uitgangspunten, startwaarden (basisjaar), techniekgegevens voor finale besparingen en WKK.

Scenario:

- Groei productiewaarde per sector per jaar (uitgedrukt in % per jaar)
- Groei fysieke productie per sector per jaar (uitgedrukt in % per jaar)
- Ontwikkeling energieprijzen en CO<sub>2</sub> prijs
- Aandeel emissies in EU ETS per sector

Energieverbruik in het basisjaar:

- Energiefuncties per sector (bijvoorbeeld het drogen van papier)
- Verbruik van energiedragers per energiefunctie
- Conversie-efficiënties (bijvoorbeeld van aardgasketels)

Per (besparings-)techniek is gedefinieerd:

- Sector en energiefunctie waar de techniek van toepassing is
- Besparing op de vraag naar elektriciteit en/of brandstof/warmte wanneer techniek wordt toegepast
- Indien van toepassing: consumptie en/of productie van energie(bij)producten
- Subsidiepercentage per techniek
- Jaar wanneer techniek beschikbaar komt
- Marktpenetratie in het basisjaar
- Maximale technische marktpenetratie
- Technische levensduur (in jaren)
- Investeringskosten (euro/GJ besparing)
- Beheer- en onderhoudskosten (euro/GJ besparing/jaar)

Voor WKK-technieken is gedefinieerd:

- Eenheden opgesteld in historische jaren (basislijst)
- Toepassingsbereik: vermogensbandbreedte waarvoor verschillende typen WKK toegepast kunnen worden
- Elektrisch en thermisch rendement
- Maximaal aantal vollasturen gedurende de levensduur
- Investeringskosten (euro/MW)
- Vaste beheer- en onderhoudskosten (euro/jaar per MW)
- Variabele beheer- en onderhoudskosten (euro/MWh)

## 1.5 Beperkingen en verdere ontwikkeling

PBL ontwikkelt in 2019- 2021 een nieuwe versie van SAVE-Productie die meer dan de huidige versie geschikt is voor het beschrijven van ingrijpende veranderingen in de industrie. Daarnaast zal het model worden uitgebreid met opties voor hernieuwbare-energie opwekking:

- Het huidige SAVE-Productie model is vooral geschikt voor scenario's die dicht bij business-as-usual blijven, en voor het beschrijven van incrementele verbeteringen van de energie-efficiëntie. Daarbij spelen vooral momentane afwegingen – op een specifiek moment de keuze tussen twee of meer technieken – een rol. Bij verdergaande emissiereductie zijn echter grotere veranderingen nodig, met een bredere range aan (innovatieve) technieken (CCS, elektrificatie, hernieuwbaar, fundamentele procesveranderingen) die grotere implicaties zullen hebben voor de industriële processen. Integratie van processen en interacties tussen maatregelen zullen hierbij ook een grotere rol spelen. Daarbij spelen ook afwegingen over investeringsmomenten een belangrijke rol – op dit moment een techniek toepassen, of op een later moment een andere techniek die met de eerste techniek niet verenigbaar is. Zowel de database van SAVE-Productie als de algoritmes zijn op dit moment niet toereikend voor een adequate beschrijving hiervan.
- Hernieuwbare energie-opwekking, zoals de toepassing van biomassa in de industrie, wordt momenteel niet gemodelleerd in SAVE-Productie omdat de uitrol van hernieuwbare energie in Nederland binnen het NEV-RS door het RESOLVE-E model wordt geanalyseerd, rekening houdend met o.a. de kasuitgaven van de SDE+. Omdat het RESOLVE-E model minder gedetailleerd is voor de industrie en de landbouwsector, is er het plan om het SAVE-Productie model uit te breiden met opties voor hernieuwbare-energie opwekking.



# Referenties

Alsema, E.A. (2000), *Icarus 4, The new database structure*, Utrecht University, NWS-E-2000-03,2000.

Boonekamp P., Mannearts H., Vreuls H., Wesselink B. (2001), *Protocol Monitoring Energiebesparing*. ECN-C--01-129, Petten.

CBS (2018), *Energiebalans; aanbod, omzetting en verbruik*. <https://opendata.cbs.nl/statline>

Daniëls B., Koelemeijer R. (2016), *Kostenefficiëntie van beleidsmaatregelen ter vermindering van broeikasgasemissies – Bijlage bij het IBO kostenefficiëntie CO<sub>2</sub>-reductiemaatregelen*. ECN-E--15-060, Petten.

Dijkstra S. (2010), *Potentieel voor hoogrenderende WKK in Nederland*. ECN-E--10-084, Petten.

ECN (2013), *Leaflet National Energy Outlook Modelling System*. ECN-F--13-046, Petten: Energieonderzoek Centrum Nederland.

Hekkert M., Negro S., Heimeriks G., Harmsen R. (2011), *Technological Innovation System Analysis*. Universiteit Utrecht & Copernicus Institute.

Koutstaal P., Gerdes J., Volkens C., Wetzels W. (2012), *Effecten invoering producententarief*. ECN-E--12-032, Petten.

Mahajan V., Muller E., Bass F.M. (1990), *New Product Diffusion Models in Marketing: a Review and Directions for Research*. *Journal of Marketing*, 54(1): 1-26.

Schoots K., Hekkenberg M., Hammingh P. (2017), *Nationale Energie Verkenning 2017*. ECN-O--017-018, Petten.

Wetzels W., Daniëls B., Seebregts A. (2009), *WKK-potentieel in de chemische industrie*. ECN-E--09-064, Petten.