

CPB Memorandum

CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis



Department : HA V
Unit : Afdeling Energie en Grondstoffen
Author : Hein Mannaerts
Number : 31
Date : 25 februari 2002

**Decompositie methode toegepast op de veranderingen van het Totaal Binnenlands
Energieverbruik volgens het Protocol Energiebesparing**

Decompositie methode toegepast op de veranderingen van het Totaal Binnenlands Energieverbruik volgens het Protocol Energiebesparing.

0. Samenvatting:

De verandering van het energieverbruik in de economie wordt bepaald door verandering van het niveau van economische activiteit, verandering in de samenstelling van de geproduceerde of geconsumeerde goederen en diensten, en door energiebesparing. Energiebesparing is de energie die niet verbruikt is en dat maakt het in de praktijk moeilijk direct waar te nemen hoe groot de gerealiseerde energiebesparingen bij de verschillende economische activiteiten zijn. Uit dit waarnemingsprobleem volgt dat besparingen berekend moeten worden. Dat kan op verschillende manieren. Om verwarring over de berekende besparingen op verschillende aggregatieniveaus te voorkomen hebben CPB, ECN, NOVEM en RIVM het afgelopen jaar op verzoek van het ministerie van Economische Zaken een Protocol voor de berekening van energiebesparing opgesteld^a. Er is voor gekozen om de energiebesparingen op diverse niveaus in de nationale economie uit te drukken in de som van de directe besparingen in het finale verbruik en het indirecte besparingseffect door de verminderde productie en dus het verminderde omzettingsverlies in de energiesector. Deze besparingen in primaire termen wordt berekend uit het energieverbruik in primaire termen.

De belangrijkste stappen in de berekening van de besparingen volgens het Protocol zijn als volgt:

Het finale energie verbruik en het verbruik voor omzetting van kolen, olie, gas, elektriciteit en overige energiedragers door de binnenlandse energieafnemers is voor twee jaren (het basisjaar en het eindjaar van de periode waarover de besparingen berekend worden) uitgesplitst in een zo groot mogelijk aantal door het CBS waargenomen processen waarin deze energie wordt verbruikt. Voorbeelden van die processen zijn: de verwarming van woningen, de ondervuring van de staalproductie, de ondervuring van warmte-kracht installaties, en de verlichting en krachtvoorziening in de dienstensector.

Dit energieverbruik van de binnenlandse afnemers is in beide jaren opgehoogd met het door het CBS geregistreerde netto (input minus output) energieverbruik per eenheid energieproduct van de binnenlandse energiesectoren in het basisjaar. Daarbij is voor de eenvoud geen onderscheid gemaakt of de energievraag van de afnemers van binnenlandse dan wel van buitenlandse herkomst is. Het opgehoogde energieverbruik heet verder het *energieverbruik in primaire termen*. Deze geconstrueerde grootheid komt niet in de energiestatistieken voor.

Bij elk productie- en bij elk consumptieproces bij de binnenlandse energie afnemers is een grootheid gezocht in de CBS statistieken die bepalend is voor het energieverbruik, de zogenaamde *procesgrootheid*.

Om de besparingen per proces in een periode te berekenen wordt eerst het zogenaamde *energieverbruik voor besparing* berekend. Dit is het energieverbruik in primaire termen in het startjaar opgehoogd met de relatieve toename van de waargenomen procesgrootheid in de periode tussen basisjaar en eindjaar. Het verschil tussen het energieverbruik voor besparing waarin alleen de groei van de activiteit verdisconteerd is en het energieverbruik in primaire termen in het eindjaar is de berekende *energiebesparing* in de processen. Het verschil tussen het referentieverbruik en energieverbruik in primaire termen in het basisjaar heet het *groei-effect*. Door de besparingen van de verschillende processen bij elkaar op te tellen kunnen de energiebesparingen op verschillende aggregatieniveaus berekend worden. Door het energieverbruik in primaire termen in het startjaar op te hogen met productiegrootheden op een hoger aggregatieniveau dan het procesniveau kan in het groei-effect ook nog het effect van diverse structuurveranderingen, zoals dematerialisatie en sectorstructureffecten, onderscheiden worden.

^a CPB, ECN, Novem en RIVM, Protocol Monitoring Energiebesparing, januari 2002

1. *Inleiding:*

De verandering van het energieverbruik in de economie wordt bepaald door verandering van het niveau van economische activiteit, verandering in de samenstelling van de geproduceerde of geconsumeerde goederen en diensten, en door energiebesparing. Energiebesparing is de energie die niet verbruikt is en dat maakt het in de praktijk moeilijk direct waar te nemen hoe groot de gerealiseerde energiebesparingen in de verschillende economische activiteiten zijn.

Uit dit waarnemingsprobleem volgt dat besparingen berekend moeten worden. Dat kan op verschillende manieren. Decompositie analyse biedt een systematische methode om de gerealiseerde energiebesparingen te berekenen. Deze appendix laat zien dat met behulp van decompositie analyse een kwantitatieve benadering gemaakt kan worden van de gerealiseerde energiebesparingen op macro economisch en sectoraal niveau.

Energiebesparingen komen tot stand door investeringen in energie zuinige technieken en door energie zuinig gedrag. Het nationale energie besparingsbeleid heeft als doel investeringen en gedrag in gunstige zin te beïnvloeden door onder andere: heffingen, subsidies voorschriften en convenants. De effectiviteit van het gevoerde beleid blijkt uit de gerealiseerde energiebesparing. De bepaling van de gerealiseerde energiebesparing is dus van belang voor de beleidsmakers omdat daarmee de effectiviteit van het gevoerde besparingsbeleid beoordeeld kan worden.

De gerealiseerde energiebesparingen kunnen op verschillende manieren berekend worden. In het verleden hanteerden de Onderzoek Instituten¹ die zich bezig hielden met de bepaling van de omvang van de energie besparingen verschillende definities, data en rekenmethodes. De verschillende uitkomsten die hieruit volgden leidde tot verwarring bij de beleidsmakers en onderzoekers. Het Protocol Energie besparing voorziet in een eenduidig stelsel van definities, data en rekenmethode dat als standaard rekenmethode kan dienen voor alle Instituten om de gerealiseerde nationale en sectorale energiebesparingen, en de volume- en structureffecten in de verandering van het energieverbruik te berekenen. In deze appendix worden de rekenmethode, definities en systeemgrenzen toegelicht, die gehanteerd worden bij de berekening van de gerealiseerde energiebesparingen, en bij de berekening van de diverse volume- en structureffecten in de ontwikkeling van de energievraag.

Het vervolg van deze appendix is als volgt:

Paragraaf 2 legt het principe van de gehanteerde decompositie methode uit. Paragraaf 3 geeft een afleiding van de gehanteerde definitie van het Totaal Binnenlands Verbruik en van de energie efficiëntie van energie sectoren en energie afnemers. Paragraaf 4 leidt de feitelijke decompositieformules af voor de energiesectoren, de energieafnemers en grensoverschrijdende energiestromen. Paragraaf 5 geeft een verder uitsplitsing van de niet besparingseffecten in een vijftal volume- en structureffecten.

2. *Methode:*

De rekenregels die de instituten in het Protocol hanteren bij de berekening van de energiebesparingen zijn afkomstig van de decompositie literatuur. [Sun, 1998] [Ang, 1995] [Ang en Zhang, 2000]. Met behulp van een decompositie methode kan het energieverbruik van de economie in zijn geheel of voor een sector uitgesplitst worden in een volume-effect, structureffecten, en besparingseffecten. Daarvoor worden hypothetische indicatoren geconstrueerd die de verandering in het energieverbruik beschrijven ten gevolge van de economische groei maar bij onveranderde energie-intensiteit van de onderliggende economische activiteiten. Het verschil van deze hypothetische grootte met de feitelijke verandering van het energieverbruik vormen de besparingen ofwel het effect van energie zuinigere technologie of energie zuiniger gedrag bij onveranderd niveau en samenstelling van activiteiten.

Definitie:

Energiebesparing is de daling van het energieverbruik in een specifiek productie of consumptie proces of een aggregaat daarvan zonder dat de omvang of samenstelling van het product of de functievervulling verandert van de activiteiten waarin de energie wordt verbruikt.

¹ ECN, RIVM, NOVEM, CBS, CPB

Deze definitie kan als volgt geformaliseerd worden. Stel er is sprake van i homogene activiteiten met een productie of consumptie niveau A_i en een energieverbruik per activiteit van E_i . Dan is de energie efficiëntie e_i per definitie gelijk aan het energieverbruik per eenheid activiteit. Het energieverbruik kan dan geschreven worden als:

$$E_i \equiv \frac{E_i}{A_i} \times A_i = e_i \times A_i$$

Structurele decompositie vergelijkt twee situaties, in tijd, ruimte of enig andere dimensie. Hier wordt een vergelijking gemaakt van het energieverbruik tussen twee tijdstippen: $t=1$ en $t=0$. De verandering in het energieverbruik voor alle activiteiten kan geschreven worden als:

$$\Delta E = \sum_i \Delta e_i \times A_i + \sum_i e_i \times \Delta A_i$$

\downarrow
 besparings
 effect

\downarrow
 groei
 effect

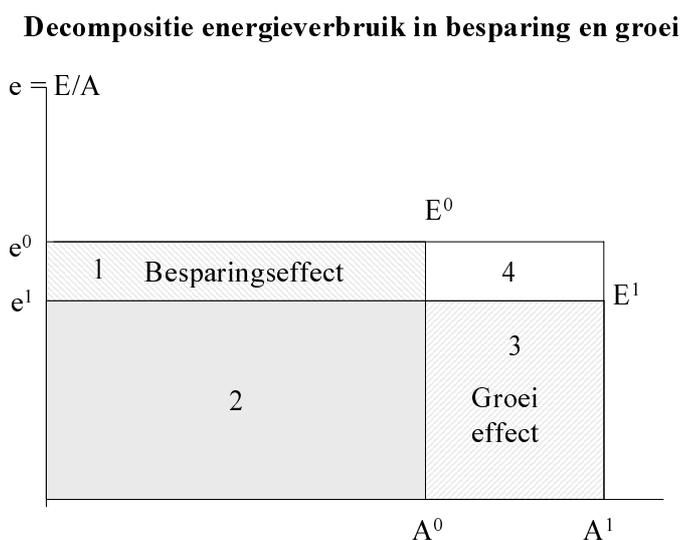
Daarbij geeft de eerste term rechts van het gelijkteken het besparingseffect weer en de tweede het groei effect van de activiteiten. De uitkomst van de deze uitsplitsing in een besparingsterm en een groeiterm is afhankelijk van de keuze van de niveauwaarde van A_i en e_i . Er bestaan vele oplossingen die voldoen aan de bovenstaande gelijkheid en niet een oplossing is zonder meer de beste.

[Dietzenbacher en Los, 1998]

De instituten hebben er in het Protocol voor gekozen de besparingsterm met het activiteitsniveau van het referentie jaar ($t=1$) en de groeiterm met het efficiëntieniveau van het basisjaar ($t=0$):

$$\Delta E = \sum_i \Delta e_i \times A_i^1 + \sum_i e_i^0 \times \Delta A_i$$

Figuur 1 geeft een grafische representatie van de decompositie en het decompositie probleem.



Stel, dat in het basisjaar de energie efficiëntie gelijk is aan e_0 en de activiteit een niveau A_0 heeft, dan is het energieverbruik E_0 in het basisjaar gelijk aan oppervlak 1+2 in figuur 1. Stel, dat in het referentiejaar de energie-intensiteit gelijk is aan e_1 en de activiteit een niveau A_1 heeft dan is het energieverbruik E_1 in het referentiejaar gelijk aan oppervlak 2+3. Door de situatie in het basisjaar te vergelijken met de situatie in het referentiejaar kan de verandering in het energieverbruik weergegeven worden door +oppervlak 3 - oppervlak 1. Hiervan kan de toename van het energieverbruik met oppervlak 3 toegewezen worden aan de economische groei en de afname van het energieverbruik met oppervlak 1 toegewezen worden aan de daling van de energie efficiëntie ofwel de gerealiseerde energie besparingen.

In formule zijn het besparingseffect en het groei-effect gelijk aan:

Stelsel 1:

$$\text{Besparingseffect} = (e^1 - e^0) \times A^0 = \Delta e \times A^0 \quad (\text{oppervlak 1})$$

$$\text{Groeieffect} = e^1 \times (A^1 - A^0) = e^1 \times \Delta A \quad (\text{oppervlak 3})$$

Besparingen en groei-effect kunnen echter ook anders gedefinieerd worden, namelijk door aan beide (met tegengesteld teken) ook oppervlak 4 in figuur 2 toe te wijzen. De formules worden dan:

Stelsel 2:

$$\text{Besparingseffect} = (e^1 - e^0) \times A^1 = \Delta e \times A^1 \quad (\text{oppervlak 1+4})$$

$$\text{Groeieffect} = e^0 \times (A^1 - A^0) = e^0 \times \Delta A \quad (\text{oppervlak 1+4})$$

Behalve bovenstaande zogenaamde polaire stelsels voldoen ook alle lineaire combinaties van beide stelsel als mogelijke decomposities van de verandering van het energieverbruik. Een veel gebruikte versie is het gewogen gemiddelde van de bovenstaande polaire stelsels met gewicht .5.

In het Protocol is voor de eenvoud gekozen een polaire vorm en wel voor stelsel 2 omdat het meer voor de hand ligt eerst het effect van de groei te berekenen zonder rekening te houden met eventuele efficiëntieverbetering en vervolgens de besparingen te berekenen met het activiteitsniveau van het referentiejaar als gewicht. Door aan zowel de besparingen en de groei ook oppervlak 4 toe te wijzen worden beide effecten maximale in omvang.

De mate waarin de volume en structureffecten in de verandering van het energieverbruik geïsoleerd kunnen worden hangt sterk af het aggregatieniveau en de homogeniteit van de processen binnen een activiteit. In het algemeen leidt een hoger niveau van disaggregatie tot een betere afsplitsing van de volume- en structureffecten en dus tot een meer juiste berekening van de energiebesparingen [Ang, 1995]. Met name een adequaat onderscheid in energie intensieve en extensieve activiteiten leidt tot een meer betrouwbare berekening van de gerealiseerde energiebesparing [Eichhammer en Schlomann, 1997].

3. Definitierelaties in de decompositie

De decompositie analyse van het Totaal Binnenlands Verbruik (TBV) kan gemaakt worden in primaire energie termen en in finale energie termen. Het verschil zit in de toewijzing van het omzettingsverlies in de energiesector. De *primaire verbruiksbenadering*² ziet het omzettingsverlies als het gevolg van het finale verbruik door energieafnemers³ en rekent dit verlies toe aan de energieafnemers. De *finale verbruiksbenadering*⁴ ziet het omzettingsverlies in de energiesector als een op zich zelf staand proces.

De instituten kiezen er in het Protocol voor de primaire verbruiksbenadering omdat hier alle effecten worden uitgedrukt in een en dezelfde kwaliteit namelijk die van primaire energie (aardolie of aardgas) waardoor de effecten beter met elkaar vergeleken kunnen worden. Besparingen in het finale elektriciteitsverbruik en het finale gasverbruik zijn in wezen onvergelijkbaar omdat het effect op het TBV van een Joule besparing elektriciteit heel anders is dan een Joule besparing gas. Daarom geeft de optelling van besparingen in het finale elektriciteitsverbruik en in het finaal gasverbruik zoals in de finale verbruiksbenadering een vertekend beeld van de besparingen.

Een ander voordeel van de primaire verbruiksbenadering is dat besparingen die samengaan met een verschuiving van de energieproductie tussen energiesector en energieafnemers ook daadwerkelijk als besparingen aangeduid worden in plaats van een volume of structuurverandering zoals bij de finale verbruiksbenadering. Dit probleem speelt met name bij de besparingen door introductie van WKK (Warmte-Kracht-Koppeling) bij de energieafnemers. Deze paragraaf werkt verder alleen de primaire verbruiksbenadering van de decompositie van het TBV uit.

Uitgangspunt is het TBV zoals geregistreerd door het CBS in de Nationale Energie Huishouding (NEH). Dit verbruik is volgens de energiebalans van de NEH per definitie gelijk aan het totale primaire binnenlandse verbruik (EE) plus de import van energieproducten (Em) minus de export van energieproducten⁵:

$$[1] \text{ Binnenlands verbruik:} \quad E = EE + (Em - Ex)$$

Daarin is het primaire binnenlandse verbruik (EE) gelijk aan de “intake” van de energiesector die nodig is voor de productie van brandstoffen (EEb) en feedstocks (EEg) van raffinaderijen en gasproducenten en voor productie van elektriciteit (EEI) door centrales. Voor de eenvoud is in het Protocol gekozen voor een onderscheid naar slechts drie categorieën energiedragers (energieproducten):

$$[2] \text{ Bruto verbruik energiesector:} \quad EE = EEb + EEI + EEf = \sum_j EE_j$$

De energie efficiëntie in de energiesector (ee) is per definitie gelijk aan de intake (EE) per eenheid productie (EP). Het bruto verbruik in de energiesector (EE) kan dan dus ook geschreven worden als:

$$[3] \text{ Bruto verbruik energiesector:}$$

$$EE = \sum_j \frac{EE_j}{EP_j} \times EP_j = \sum_j ee_j \times EP_j = \sum_j (ee_j - 1) \times EP_j + \sum_j EP_j$$

Deze vergelijking laat ook zien dat er twee manieren zijn om het bruto verbruik in de energiesector weer te geven. De eerste manier rechts van het tweede gelijkteken maakt geen onderscheid tussen

² De primaire verbruiksbenadering is tot nu toe gebruikt in de analyses van ECN.

³ Energie afnemers omvatten alle categorieën buiten de energiesector.

⁴ De finale verbruiksbenadering is tot nu toe gebruikt in de analyses van RIVM en CPB.

⁵ Voor de eenvoud wordt de voorraadvorming hierbij buiten beschouwing gelaten.

omzettingsverlies en energieproduct, terwijl de tweede manier rechts van het derde gelijktteken wel een dergelijk onderscheid maakt. Door dit onderscheid wordt het bruto verbruik van de energiesector gesplitst in een netto omzettingsverbruik ofwel omzettingsverlies van de energiesector en de afzet van energieproducten door de energiesector. Naar beide manieren zal verder gerefereerd worden als respectievelijk de *primaire verbruiksbenadering* en de *finale verbruiksbenadering*. De eerste benadering ziet het omzettingsverlies als het gevolg van het finale verbruik door energieafnemers en rekent dit verlies toe aan de energieafnemers. De tweede benadering ziet het omzettingsverlies in de energiesector als een op zich zelf staand proces.

De productie van de energiesector is volgens de energiebalans gelijk⁶ aan het verbruikssaldo⁷ (E_s) van de binnenlandse energie afnemers plus de export van energieproducten (E_x) minus de import van energieproducten (E_m). Het verbruikssaldo (E_s) is gelijk aan het finale verbruik (E_f) plus het omzettingsverbruik (E_o) voor energieproductie door de energieafnemers. De productie in de energiesector is dus gelijk aan:

[4] Productie energiesector:

$$EP_j = E_s_j + (E_x_j - E_m_j) = E_f_j + E_o_j + (E_x_j - E_m_j)$$

Het finale verbruik (E_f) en het omzettingsverbruik (E_o) van energie afnemers vindt volgens de energiebalans plaats in een groot aantal (i) productie en consumptie activiteiten (A):

[5a] Finaal verbruik energieafnemers:
$$E_f_j = \sum_i E_{f_{ij}}$$

[5b] Omzettingsverbruik energieafnemers:
$$E_o_j = \sum_i E_{o_{ij}}$$

De energie efficiëntie (ef) in het finale verbruik is per definitie gelijk aan het energieverbruik (E_f) per energie relevante productie of consumptie grootte (A). Het finale verbruik kan dan ook geschreven worden als:

[6] Finaal verbruik energieafnemers:

$$E_f_j = \sum_i E_{f_{ij}} = \sum_i \frac{E_{f_{ij}}}{A_{ij}} \times A_{ij} = \sum_i ef_{ij} \times A_{ij}$$

Merk op, dat de energie relevante productie of consumptie grootte verschillend kan zijn voor brandstoffen, elektriciteit en grondstoffen. Voor brandstoffen en grondstoffen zijn vooral fysieke productie en consumptie grootheden de beste indicator voor de activiteit, voor elektriciteit is de voorkeur gegeven aan het volume van de bruto productie of toegevoegde waarde.

Voor de energie efficiëntie in de omzetting van de energie afnemers (dit is voornamelijk omzetting in de eigen opwekking van elektriciteit door Warmte-Kracht-Koppeling (WKK)) geldt analoog aan de energiesector:

[7] Omzettingsverbruik energieafnemers:

$$E_o_j = \sum_i E_{o_{ij}} = \sum_i \frac{E_{o_{ij}}}{EP_{o_i}} \times EP_{o_i} = \sum_i eo_{ij} \times EP_{o_i}$$

⁶ zie voetnoot 1

⁷ Dit zijn de energieleveranties aan de energieafnemers

Samengevat kan de productie van de energiesector (EP) geschreven worden als:

[8] *Productie energiesector:*

$$EP_j = \sum_i ef_{ij} \times A_{ij} + \sum_i eo_{ij} \times EPo_i + (Ex_j - Em_j)$$

Door deze vergelijking is te vullen in vergelijking [3] (primaire verbruiksbenadering) kan het bruto primair energieverbruik van de energiesector geschreven als de som van het bruto primair energieverbruik ten behoeve van productie en consumptie activiteiten door de energie afnemers, de energieproductie van de energieafnemers, en de netto vraag door buitenlandse afnemers.

[9a] *Bruto verbruik energiesector (primaire verbruiksbenadering):*

$$EE = \sum_{ij} ee_j \times ef_{ij} \times A_{ij} + \sum_{ij} ee_j \times eo_{ij} \times EPo_i + \sum_j ee_j \times (Ex_j - Em_j)$$

Deze vergelijking volgens de primaire verbruiksbenadering kan ook herschreven worden volgens de finale verbruiksbenadering [zie vgl. 3, finale verbruiksbenadering]:

[9b] *Bruto verbruik energiesector (finale verbruiksbenadering):*

$$EE = \sum_j (ee_j - 1) \times EP_j + \sum_{ij} ef_{ij} \times A_{ij} + \sum_{ij} eo_{ij} \times EPo_i + \sum_j (Ex_j - Em_j)$$

Het verschil met de primaire verbruiksbenadering is dat het omzettingsverlies in de energiesector niet wordt toegerekend aan de finale verbruikers maar als een aparte term is opgenomen.

Tenslotte kan door vergelijking [9a] en [1] te combineren het Totaal Binnenlands Verbruik (TBV) volgens de primaire verbruiksbenadering als volgt samengevat worden:

[10a] *Binnenlands verbruik (primaire verbruiksbenadering):*

$$E = \sum_{ij} ee_j \times ef_{ij} \times A_{ij} + \sum_{ij} ee_j \times eo_{ij} \times EPo_i + \sum_j (ee_j - 1) \times (Ex_j - Em_j)$$

- De eerste term rechts van het gelijk teken is het bruto verbruik⁸ door energieafnemers ofwel het finale verbruik opgehoogd met het omzettingsverlies in de energiesector dat nodig is om de finaal verbruikte energiedragers te produceren. In deze benadering wordt alle energieverbruik in de keten, van primaire energie tot het uiteindelijke energie product, toegerekend aan de finale verbruiker. Tabel 1 laat zien wat het effect daarvan kan zijn op de energie verbruikscijfers:

Stel dat 1 eenheid staal 8 eenheden warmte en 2 eenheden elektriciteit vergt en dat 1 eenheid aluminium 2 eenheden warmte en 8 eenheden elektriciteit vergt. Dus voor beide producten zijn er 10 eenheden energie nodig. Deze informatie staat in kolommen 2, 3 en 4 van tabel 1. In kolom 1 staat weergegeven hoeveel primaire energie er voor een eenheid energieproduct nodig is. Ophoging van het directe verbruik met deze factoren geeft het bruto energieverbruik in kolom 5. Deze kolom laat zien dat het verbruik in primaire termen bij de productie van een eenheid aluminium veel hoger is dan van een eenheid staal terwijl het verbruik in finale termen precies hetzelfde was.

⁸ In de Engelstalige literatuur heet dit: Gross Energy Requirement.

| Tabel 1 | Voorbeeld berekening energieverbruik in staal en aluminium productie | | | | |
|---------------|--|-----|-----|--------|-------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| Staal | ee | ef | A | ef * A | ee * ef * A |
| warmte | 1.1 | 8 | 1 | 8 | 8.8 |
| elektriciteit | 2 | 2 | 1 | 2 | 4 |
| totaal | | | | 10 | 12.8 |
| Aluminium | | | | | |
| warmte | 1.1 | 2 | 1 | 2 | 2.2 |
| elektriciteit | 2 | 8 | 1 | 8 | 16 |
| totaal | | | | 10 | 18.2 |

Het berekenende van het finale verbruik in primaire termen in vergelijking [10] stemt niet overeen met het werkelijke bruto energie verbruik. In werkelijkheid worden de energieproducten die de energieafnemers verbruiken geproduceerd in binnen- en buitenland en zou dus de omrekeningsterm ee ook bepaald moeten worden door energie efficiëntie in binnen- en buitenlandse energiesectoren. De instituten hebben er in het Protocol gekozen voor de eenvoud en de buitenlandse productieprocessen buiten beschouwing gelaten. Het toegerekende primaire verbruik wordt bepaald met de omrekeningsfactoren van de binnenlandse energiesector.

- De tweede term rechts van het gelijkteken is het bruto verbruik bij het omzettingsverbruik van de energie afnemers. Deze term geeft de energiebesparing weer die optreedt indien energie afnemers hun benodigde elektriciteit zelf gaat opwekken.

| Tabel 2 | Voorbeeld berekening besparingen WKK door toename eigen elektriciteitsopwekking | | | | |
|----------------|---|------|-----|----------|---------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| | ee | eo | EPo | eo * EPo | ee * eo * EPo |
| brandstof | 1.1 | 2.25 | 10 | 22.5 | 24.75 |
| warmte | 1.25 | -1 | 10 | -10 | -12.5 |
| elektriciteit | 2 | -1 | 10 | -10 | -20 |
| saldo verbruik | | | | 2.5 | -7.75 |

Een voorbeeld kan de werking van deze term duidelijk maken. In tabel 2 staan de verschillende componenten van de term weergegeven. De eerste kolom geeft aan dat per eenheid brandstof, warmte en elektriciteit die aan de energieafnemer geleverd wordt respectievelijk 1.1, 1.25 en 2 eenheden primaire energie nodig zijn. De tweede kolom laat zien dat per eenheid eigen elektriciteit en warmteproductie door de energie afnemers 2.25 eenheid gas nodig is. Als er dan in totaal 10 eenheden warmte en elektriciteit met de WKK installatie geproduceerd worden (kolom 3) dat laat kolom 4 zien dat het omzettingsverlies daarvan gelijk is aan 2.5. Kolom 5 laat zien dat in termen van bruto energieverbruik er sprake is van een omzettingwinst ofwel energiebesparing van 7.75 eenheden doordat de warmte en elektriciteit met een WKK installatie in plaats van gescheiden is geproduceerd.

Deze energiebesparing wordt gerealiseerd door een productieverschuiving tussen energiesector en energieafnemers en zou zonder de toerekening in primaire termen niet zichtbaar worden als besparing maar alleen als groei-effect en structureffecten bij zowel centrales als bij energieafnemers. Dit is in te zien indien het omzettingsverbruik in primaire termen herschreven wordt in finale termen:

$$EEo = \sum_{ij} ee_j \times eo_{ij} \times EPo_i = \sum_{ij} (ee_j - 1) \times eo_{ij} \times EPo_i + \sum_{ij} eo_{ij} \times EPo_i$$

Daarbij is de eerste term rechts van het tweede gelijkteken het omzettingsverlies in de energiesector en de tweede term het omzettingsverlies bij de energieafnemers. Het rekenvoorbeeld uit tabel 2 laat zien dat de inzet van 10 eenheden WKK het omzettingsverlies van de energieafnemers met 2.5 toeneemt en het omzettingsverlies in de energiesector met 10.25 eenheden daalt. Deze daling komt alleen door de

verminderde afzet van de energiesector aan de energieafnemers en is dus een volume- en structuur effect voor de energiesector. De energie efficiëntie (ee) van de energiesector blijft onveranderd.

- De laatste term rechts van het gelijk teken geeft het omzettingsverlies in de energiesector ten behoeve van de afzet in het buitenland en het vermeden omzettingsverlies in energiesector door de import van energieproducten uit het buitenland.

Ook hier geeft de aan de import toegerekende primaire energie niet het feitelijke omzettingsverbruik in het buitenland weer maar een toegerekende energieverbruik conform de energie-efficiëntie van de binnenlandse energiesector. Deze term kan daardoor geïnterpreteerd worden als de uitgespaarde omzettingsverlies in de binnenlandse energiesector door de import van energieproducten.

Het TBV volgens de finale verbruiksbenadering is door vergelijking [9b] en vergelijking [1] te combineren als volgt te schrijven:

[10b] *Binnenlands verbruik (volgens de finale verbruiksbenadering):*

$$E = \sum_j (ee_j - 1) \times EP_j + \sum_{ij} ef_{ij} \times A_{ij} + \sum_{ij} eo_{ij} \times EP_{o_i}$$

In deze benadering is het omzettingsverlies ten behoeve van afzet aan de energieafnemers samen met het omzettingsverlies ten behoeve van afzet in het buitenland samengevat in de eerste term rechts van het gelijk teken. Deze definitievergelijking van het TBV is tot nu toe gehanteerd door CPB en RIVM bij de berekening van de energiebesparingen.

4. *Decompositie van het Totaal Binnenlands Verbruik in besparingseffect en groei-effect*
Veranderingen in het Totaal Binnenlands Verbruik kunnen met in het Protocol geselecteerde decompositie methode: stelsel 2 uit paragraaf 3, uitgesplitst worden in een aantal besparingseffecten en groei-effecten. Die decompositie is vooral gekozen vanwege zijn eenvoud en zal hier stapsgewijs uitgevoerd worden.

In de eerste stap wordt de decompositie methode toegepast op het bruto verbruik van de energiesector [zie vgl 3]. Volgens de primaire verbruiksbenadering:

$$[11a] \quad \Delta EE = \sum_j \Delta ee_j \times EP_j^1 + \sum_j ee_j^0 \times \Delta EP_j$$

besparingseffect
energiesector

groei effect (bruto)
energiesector

Daarbij is de eerste term rechts van het gelijk teken het besparingseffect in de energiesector dat berekend wordt door de verandering van de energie efficiëntie te wegen met de productie in het referentie jaar (t=1). De tweede term is het groei effect van de energiesector en wordt berekend door de verandering in de productie te wegen met de energie efficiëntie uit het basis jaar (t=0).

Volgens de finale verbruiksbenadering geldt:

$$[11b] \quad \Delta EE = \sum_j \Delta (ee_j - 1) \times EP_j^1 + \sum_j (ee_j^0 - 1) \times \Delta EP_j + \sum_j \Delta EP_j$$

besparingseffect
energiesector

groei effect (netto)
energiesector

afzet effect

Het besparingseffect is hier precies gelijk aan die van de primaire verbruiksbenadering. Het groei effect is echter opgesplitst in een afzet effect en een netto groei effect.

Deze laatste term kan in beide benaderingen weer uitgesplitst worden in de verschillende effecten bij de energieafnemers en de internationale handel. Uit vergelijking 1 en 4 in eerste verschillen en vergelijking 11a volgt dat de verandering van het TBV geschreven kan worden als:

$$[12a] \quad \Delta E = \sum_j \Delta ee_j \times EP_j^1 + \sum_j ee_j^0 \times \Delta Ef_j + \sum_j ee_j^0 \times \Delta Eo_j + \sum_j (ee_j^0 - 1) \times (\Delta Ex_j - \Delta Em_j)$$

| | | | |
|---|---|-------------------------------------|---------------------------------|
| | | | |
| Besparingseffect energiesector [zie vgl. 11a] | Finale verbruik effect in primaire termen | WKK effect in primaire termen | Internationaal handelseffect |

Hierin is de tweede term rechts van het gelijk teken de verandering van het finale verbruik door energie afnemers uitgedrukt in primaire energie termen. De derde term geeft het effect van de eigen energieopwekking (vooral WKK) van de energieafnemers weer. Deze term geeft de energie besparing weer in de totale energieketen indien energie afnemers meer zelf elektriciteit gaan produceren tegen een lager omzettingsverlies dan de centrales. Samen geven de tweede en de derde term het effect weer van de verandering van het verbruikssaldo ($\Delta E_s = \Delta E_f + \Delta E_o$) van de binnenlandse energieafnemers.

Analoog kan vergelijking 11b gecombineerd worden met de eerste verschillen van vergelijkingen [1] en [4]:

$$[12b] \quad \Delta E = \sum_j \Delta(ee_j - 1) \times EP_j^1 + \sum_j (ee_j^0 - 1) \times \Delta EP_j + \sum_j \Delta Ef_j + \sum_j \Delta Eo_j$$

| | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|---|--|
| | | | |
| besparingseffect energiesector | groei effect (netto) energiesector | afzet effect finaal + omzetting energieafnemers | |

In vergelijking met 11b wordt hier de verandering van de afzet uitgesplitst in finaal verbruik en verbruik voor omzetting. De netto import term in productie valt weg.

In de tweede stap wordt de decompositie toegepast op het finaal verbruik [vgl 6] en het omzettingsverbruik [7] van de energie afnemers.

$$[13] \quad \Delta Ef_j = \sum_i \Delta Ef_{ij} = \sum_i \Delta ef_{ij} \times A_{ij}^1 + \sum_i ef_{ij}^0 \times \Delta A_{ij}$$

| | | |
|---------------------------|----------------------|-----------------|
| | | |
| finale verbruik effect | besparings effect | groei effect |

De eerste term rechts van het tweede gelijkteken geeft het besparingseffect weer van de energieafnemers in finale energie termen weer. Dit effect wordt berekend door de verandering van de energie efficiëntie te wegen met het activiteiten niveau in het referentiejaar ($t=1$). De tweede term geeft het volume & structuur effect weer en wordt berekend door de verandering in activiteiten niveau te wegen met de energie efficiëntie uit het basisjaar.

De hier gebruikte besparingsterm is de definitie van het berekende besparingscijfer zoals het tot nu toe is gehanteerd door CPB en RIVM in de finale verbruiksbenadering conform vergelijking 12b. Daarbij is het finale verbruik effect niet opgehoogd met de energie efficiëntie van de energiesector. Het nadeel hiervan is dat besparingseffecten van elektriciteit en brandstoffen bij elkaar worden opgeteld terwijl ze in wezen onvergelijkbaar zijn omdat het effect op het TBV van een Joule besparing elektriciteit heel

anders is dan een Joule besparing gas. Door de optelling van besparingen in het finale elektriciteitsverbruik en in het finaal gasverbruik zoals in de finale verbruiksbenadering van vergelijking [13] wordt gedaan is de betekenis van de berekende besparingen niet eenduidig.

De instituten hebben er in het Protocol voor gekozen het finale verbruik effect te definiëren in primaire termen waardoor het verschil in omzettingsverlies bij de productie van de verbruikte energiedragers ook wordt meegewogen bij de uitgespaarde energie door energie besparende investeringen of energiebesparend gedrag:

$$[14] \quad \Delta EEf = \sum_j ee_j^0 \times \Delta Ef_j = \sum_{ij} ee_j^0 \times \Delta ef_{ij} \times A_{ij}^1 + \sum_{ij} ee_j^0 \times ef_{ij}^0 \times \Delta A_{ij}$$

| | | |
|--|---|---|
| \downarrow finale verbruik effect [zie vgl 12] in primaire termen | \downarrow besparingseffect finale verbruik in primaire termen | \downarrow groei-effect finale verbruik in primaire termen |
|--|---|---|

Geheel analoog kan uit vergelijking [8] het omzettingsverbruik in primaire termen uitgesplitst worden in een besparingseffect en een volume effect:

$$[15] \quad \Delta EEO = \sum_j ee_j^0 \times \Delta Eo_j = \sum_{ij} ee_j^0 \times \Delta eo_{ij} \times EPO_i^1 + \sum_{ij} ee_j^0 \times eo_{ij}^0 \times \Delta EPO_i$$

| | | |
|--|--|--|
| \downarrow WKK effect [zie vgl 12] in primaire termen | \downarrow Besparingseffect WKK installaties in primaire termen | \downarrow Besparingseffect in primaire termen door groei WKK |
|--|--|--|

Het voordeel van de primaire verbruiksbenadering bij WKK is dat besparingen die samengaan met de verschuiving van de energieproductie tussen energiesector en energieafnemers ook daadwerkelijk als besparingen aangeduid (zie laatste term) worden in plaats van een volume of structuurverandering zoals bij de finale verbruiksbenadering. In de eerste term rechts van het tweede gelijkteken staat het effect van de energie zuinigere WKK installaties.

Met de bovenstaande decomposities van het TBV [12] en de verdere decompositie van het finale verbruik conform het toegerekend primaire energieverbruik van de energieafnemers [14 en 15] kan de verandering van het Totaal Binnenlands Verbruik ontleed worden in verschillende optelbare deeleffecten, waaronder het besparingseffecten en groei-effecten in de energiesector en bij de energie afnemers. Daarnaast is er in deze primaire verbruiksbenadering ook nog een effect ten gevolge van veranderende import en export stromen van energieproducten.

5. *Decompositie van groei-effecten in volume- en structureffecten*

Op basis van de beschikbare data van het CBS is in het Protocol het Totaal Finaal Binnenlands Energieverbruik uitgesplitst in het verbruik van 5 hoofdsectoren: industrie, huishoudens, diensten, landbouw en transport. Elk van die hoofdsectoren is weer onderverdeeld in een aantal sectoren, zoals de basis metaal, de zorgsector, de glastuinbouw en het personenvervoer etc.

Op elk aggregatie niveau is gezocht naar een relevante grootheid (activiteiten indicator) die bepalend is voor de groei van het energieverbruik op dat aggregatieniveau:

- Op nationaal niveau is dat het bruto binnenlands product.
- Op niveau van de hoofdsectoren is dat het volume van toegevoegde waarde of de afzet. De afzet is het daarbij het meest geschikt omdat energiebesparingen de afzet het minste beïnvloedt. Door investeringen in energie zuinige technieken kan de toegevoegde waarde toenemen waardoor de energie efficiëntie (E/Y) nog extra toeneemt door de verandering van de noemer. Sectorstructuur

effecten kunnen op dit niveau echter beter berekend worden met de toegevoegde waarde ontwikkeling in de hoofdsector ten opzichte van de ontwikkeling van het bruto nationaal product.

- Op sectorniveau is de geselecteerde energie relevante grootheid de meest geschikte om besparingseffecten en groei-effecten te berekenen. Sectorstructuur effecten kunnen op dit niveau echter beter berekend worden met de bruto productie ontwikkeling in de sector ten opzichte van diezelfde ontwikkeling van de hoofdsector.

Naarmate het aantal subsectoren groter is en daardoor de kans groter is dat deze sectoren homogene productie of consumptie activiteiten omvatten zal de energie relevante grootheid (A) het hypothetische energieverbruik ($ee \cdot ef \cdot A$) voor besparing beter representeren. In dat geval zal ook het berekende besparingseffect dichter bij de gerealiseerde besparingen liggen.

| Aggregatie niveau | Activiteiten indicator | Symbol |
|-----------------------------|-----------------------------|--------|
| Nationaal | Bruto Binnenlands Product | Y |
| Hoofd sectoren | | |
| - huishoudens | Consumptie (volume) | Y_I |
| - bedrijven en instellingen | Toegevoegde waarde (volume) | Y_I |
| | Bruto productie (volume) | X_I |
| Sectoren | | |
| - bedrijven en instellingen | Bruto productie (volume) | X_i |
| | Energie relevante grootheid | A_i |

Het berekende groei-effect kan met de grootheden uit tabel 1 verder uitgesplitst worden in verschillende volume- en structuureffecten. Dit gebeurt door op systematische wijze deze grootheden in vergelijking [14] op te tellen en af te trekken en de verschillen tussen de energie herwogen grootheden met elkaar te vergelijken:

$$\begin{aligned}
 \Delta EEf . A &= \sum_{ij} ee_j^0 \times ef_{ij}^0 \times \Delta A_{ij} = \sum_{ij} ee_j^0 \times ef_{ij}^0 \times (A_{ij}^1 - A_{ij}^0) \\
 [16] \quad &= \sum_{ij} ee_j^0 \times ef_{ij}^0 \times \left[\underbrace{(A_{ij}^1 - X_i^1)}_{\substack{\text{intra sectoraal} \\ \text{structuur} \\ \text{effect}}} + \underbrace{(X_i^1 - X_I^1)}_{\substack{\text{sector} \\ \text{structuur} \\ \text{effect}}} + \underbrace{(X_I^1 - Y_I^1)}_{\substack{\text{toegevoegde} \\ \text{waarde} \\ \text{effect}}} + \underbrace{(Y_I^1 - Y)}_{\substack{\text{hoofdsector} \\ \text{structuur} \\ \text{effect}}} + \underbrace{(Y - A_{ij}^0)}_{\substack{\text{volume} \\ \text{effect}}} \right]
 \end{aligned}$$

Hierin is het volume effect het hypothetische energieverbruik dat er op tijdstip t=1 zou zijn geweest als alleen het niveau van alle activiteiten was toenemen in het tempo van het bruto nationaal product minus het energieverbruik uit het basisjaar. De overige structuureffecten worden berekend door het hypothetisch energieverbruik conform diverse productie of consumptie grootheden te laten toenemen en vervolgens de verschillen te nemen tussen de uitkomsten. De achtereenvolgende verschillen (in vergelijking 16) zijn niet willekeurig maar worden bepaald door het niveau van aggregatie van de grootheden en de mate waarin zij een adequate indicator zijn voor de ontwikkeling van het energieverbruik in een subsector. Het bruto nationaal product heeft het hoogste aggregatieniveau en is het minste geschikt als activiteiten indicator voor het energieverbruik van de subsectoren. De energierelevante activiteiten indicator heeft het laagste aggregatieniveau en is het meest geschikt als activiteiten indicator voor het energieverbruik van de subsectoren.

Referenties:

- Ang, B.W. (1995), *Decomposition methodology in energy demand analysis*, Energy 20, pp 1081-1095.
- Ang, B.W. and F.Q Zhang (2000), *A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies*, Energy 25, pp.1149-1176.
- Dietzenbacher, E and B.Los (1998), *Structural Decomposition Techniques: Sense and sensitivity*, Economic Systems Research 10 (4) pp. 307-323.
- Eichhammer, W. and Mannsbart (1997), *Industrial Energy Efficiency: Indicators for a European cross-country comparison of energy efficiency in manufacturing industry*, Energy policy 25, pp. 759-772.
- Sun J.W. (1998), *Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model*, Energy Economics, 20(1), pp 85-100.

