

CE

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180
2611 HH Delft
tel: 015 2 150 150
fax: 015 2 150 151
e-mail: ce@ce.nl
website: www.ce.n

De prijs van groeiend energiegebruik

Prijsmechanismen achter het
toenemend gebruik van energie

Rapport

Delft, december 2000

Opgesteld door: drs. J. van Swigchem
ir. A.N. Bleijenberg
ir. J.M.W. Dings
drs. B.A. Leurs
m.m.v. G. de Wit (EIM)



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

Swigchem, drs. J. van, ir. A.N. Bleijenberg, ir. J.M.W. Dings, drs. B.A. Leurs,
m.m.v. G. de Wit (EIM)
De prijs van groeiend energiegebruik; Prijsmechanismen achter het toene-
mend gebruik van energie
Delft: CE, 2000

Overheidsbeleid / Energiebeleid / Emissievermindering / Energiebesparing /
Energieverbruik / Toename / Prijsstelling / Beleidsinstrumenten / Analyse

Dit rapport kost f 45,00 (€ 20,42) (exclusief verzendkosten).
Publicatienummer: 00.7560.32

Verspreiding van CE-publicaties gebeurt door:

CE
Oude Delft 180
2611 HH Delft
Tel: 015-2150150
Fax: 015-2150151
E-mail: publicatie@ce.nl

Opdrachtgever: Ministerie van Economische Zaken
Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider mevrouw
drs. J. van Swigchem

©copyright, CE, Delft

CE

Oplossingen voor milieu, economie en technologie

CE is een onafhankelijke onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

CE is onderverdeeld in vijf secties die zich richten op de volgende werkterreinen:

- economie
- energie
- industrie
- materialen
- verkeer & vervoer

Van elk van deze secties is een publicatielijst beschikbaar. Geïnteresseerden kunnen deze opvragen bij CE tel: 015-2150150. De meest actuele informatie van CE is te vinden op de website: www.ce.nl

Inhoud

| | |
|---|----|
| Samenvatting | 1 |
| 1 Inleiding | 4 |
| 1.1 Aanleiding | 4 |
| 1.2 Doel en onderzoeksaanpak | 5 |
| 1.3 Afbakening | 6 |
| 1.4 Leeswijzer | 6 |
| 2 Energiegebruik (1982-1997) en gebruikelijke analyse | 8 |
| 2.1 Inleiding | 8 |
| 2.2 Ontwikkeling van het energiegebruik | 8 |
| 2.3 Gebruikelijke analyse | 9 |
| 3 Analyse kader: benadering via energiefuncties | 12 |
| 3.1 Inleiding | 12 |
| 3.2 Analyse kader: benadering via energiefuncties | 12 |
| 4 Mechanismen achter het energiegebruik | 16 |
| 4.1 Inleiding | 16 |
| 4.2 Overzicht van de mechanismen | 16 |
| 4.3 Vraag naar energiedragers door eindgebruikers | 19 |
| 4.4 Inkomenseffect en bevolkingsgroei | 21 |
| 4.5 Efficiencyeffect | 22 |
| 4.6 Prijs effect | 23 |
| 4.6.1 Indirect effect van de reële vaste kosten | 24 |
| 4.6.2 Indirecte effecten van efficiencyverbetering | 25 |
| 4.6.3 Indirecte effecten van de energieprijzen | 26 |
| 4.7 Toelichting met behulp van trend in periode 1982-1997 | 28 |
| 5 Empirie: elektrische functies van huishoudens | 32 |
| 5.1 Inleiding | 32 |
| 5.2 Resultaten van de analyse (periode 1982-1997) | 33 |
| 5.2.1 Elektriciteitsverbruik | 35 |
| 5.2.2 Functiegebruik | 35 |
| 5.2.3 Reële kostprijs per eenheid energiefunctie | 41 |
| 5.3 Relatie tussen functiegebruik en kostprijs | 45 |
| 5.3.1 Relatie tussen de reële vaste kosten en de penetratie van apparaten | 47 |
| 5.3.2 Relatie tussen de reële variabele kosten en het functiegebruik | 49 |
| 5.4 Prijselasticiteiten | 51 |
| 5.5 Kwantitatieve uitwerking: hoe groot is het prijseffect? | 54 |
| 5.6 Een 'reboundeffect' van efficiency of aanschafsubsidies? | 54 |
| 5.7 Verklaring energiegebruik elektrische functies huishoudens | 55 |
| 5.8 Conclusies | 55 |
| 6 Evaluatie van de analyseresultaten | 58 |
| 6.1 Inleiding | 58 |
| 6.2 Confrontatie van de macro- en microanalyse | 58 |
| 6.3 Kanttekeningen bij de benadering via energiefuncties | 59 |
| 6.3.1 Sectorstructuur | 60 |

| | | |
|-------|---|----|
| 6.3.2 | Leefstijl als verklaring voor de verhoogde afzet van elektrische apparaten | 60 |
| 6.3.3 | Energie-efficiency | 61 |
| 6.4 | Onzekerheden | 61 |
| 6.4.1 | Onzekerheden in de macroanalyse | 62 |
| 6.4.2 | Onzekerheden in de microanalyse | 64 |
| 6.5 | Gevoeligheden | 65 |
| 6.6 | Robuustheid van het model en aanbevelingen voor monitoring | 66 |
| 7 | Universele geldigheid? | 68 |
| 7.1 | Inleiding | 68 |
| 7.2 | Geldigheid van het gedachtengoed voor de industrie | 68 |
| 7.3 | Geldigheid van het gedachtengoed voor het goederenvervoer | 70 |
| 7.4 | Geldigheid van het gedachtengoed in de utiliteit | 70 |
| 7.5 | Bruikbaarheid van het theoretisch model voor prospectieve analyses | 71 |
| 8 | Aanknopingspunten voor het beleid | 72 |
| 8.1 | Inleiding | 72 |
| 8.2 | Verder na Kyoto: welke uitdagingen? | 72 |
| 8.3 | Mogelijke aangrijpingspunten voor beleid | 74 |
| 8.3.1 | Efficiencybeleid | 74 |
| 8.3.2 | Verhogen van de prijs van energie voor eindgebruikers | 75 |
| 8.3.3 | Inzet van schone energie | 76 |
| 8.3.4 | Vaste kosten van energiefuncties | 77 |
| 8.3.5 | Samenvatting van de effecten van beleidsrichtingen | 78 |
| 8.4 | Sturing naar duurzame CO ₂ -emissies | 79 |
| 8.4.1 | Referentie | 79 |
| 8.4.2 | In welke mate helpt het prijsmechanisme bij <i>stabilisatie</i> van emissies? | 81 |
| 8.4.3 | In welke mate helpt het prijsmechanisme bij <i>reductie</i> van emissies? | 84 |
| 8.5 | Conclusies | 85 |
| 9 | Conclusies en aanbevelingen | 88 |
| 9.1 | Conclusies van het onderzoek | 88 |
| 9.2 | Aanbevelingen voor onderzoek | 90 |
| 9.3 | Aandachtspunten voor het energiebeleid | 91 |
| | Literatuur | 94 |

Samenvatting

Achtergrond

Op klimaatgebied ligt er een uitdaging om de uitstoot van broeikasgassen, waaronder CO₂, te reduceren. Nederland heeft afgesproken in 2012 6% minder broeikasgassen te emitteren dan in 1990. Na 2012 is een verdere absolute reductie waarschijnlijk noodzakelijk. Realisatie is echter nog ver weg: tussen 1990 en 1998 is de CO₂-emissie met 12% gestegen.

Verbetering van de energie-efficiency, het energiegebruik per fysieke of economische eenheid en daarmee een *relatieve* maat voor het energiegebruik, is altijd een belangrijke pijler van het energiebeleid geweest. Een relevante vraag is of het sturen op efficiencyverbetering voldoende perspectief biedt om de *absolute* emissiereductie op termijn nabij te brengen.

Inzicht in de factoren die de groei van het energiegebruik veroorzaken, kan hierop antwoord geven. In deze studie hebben we een uitgebreide zoektocht opgezet naar de mechanismen achter de groei van het energiegebruik. Centraal in de analyse staan zogenoemde *energiefuncties*. Dit zijn de prestaties die met energie geleverd worden om maatschappelijke behoeften te vervullen. Een voorbeeld is verlichting, uit te drukken in het aantal lumenuur, of koeling, uit te drukken in het aantal kubieke meters koelruimte.

Deze invalshoek maakt het mogelijk om te onderzoeken welke rol de prijs van energiefuncties speelt in de groei van het energiegebruik. Naast de energiekosten kunnen de aanschafkosten van apparaten (vaste kosten) worden bekeken als mogelijke verklarende factor.

Onderzoeksvragen en conclusies

Welke rol speelt de prijs van energiefuncties in de groei van het energiegebruik?

Op basis van een analyse op *macro-niveau* zijn de conclusies:

- het goedkoper worden van energiefuncties (een uur licht, een kubieke meter gekoelde ruimte, etc.) leidt tot meer gebruik ervan, en daarmee tot meer energiegebruik;
- circa 30% van de groei van het energiegebruik is een gevolg van de dalende prijs van energiefuncties (periode 1982-1997);
- verbetering van de energie-efficiency leidt, via verlaging van de energiekosten, tot meer energiegebruik. Circa een zesde deel van de inspanningen van efficiencyverbetering worden hierdoor teniet gedaan (reboundeffect).

Op *micro-niveau* is de stijging van het elektriciteitsverbruik van huishoudens geanalyseerd (periode 1987-1997). In hoeverre is dit een gevolg van het goedkoper worden van de elektrische functies? De conclusies zijn:

- een daling van de (reële) aanschafkosten van apparaten leidt tot meer aankoop, en dus tot meer elektriciteitsverbruik;
- dit is vooral het geval voor zogenoemde 'nieuwe' functies die het afgelopen decennium in steeds meer huishoudens zijn te vinden (bijvoorbeeld vaatwassen, wasdrogen, licht van spaarlampen). Circa 60-70% van de toegenomen aanschaf wordt door de prijsdaling verklaard. Bij de 'oude' functies (zoals wassen en stofzuigen) is dit effect kleiner;
- er is geen duidelijk verband gevonden tussen de elektriciteitskosten en het *gebruik* van de functies: is een apparaat eenmaal aangeschaft dan vormen de elektriciteitskosten geen drempel om het te gebruiken;

- we vermoeden dat het niet transparant en substantieel zijn van de energiekosten een reden is dat huishoudens relatief ongevoelig zijn voor deze kosten. Dit is van belang voor overheidsbeleid dat via een verhoging van de energieprijzen huishoudens wil stimuleren tot energiebesparing.

Welk licht werpt het prijsmechanisme op de verschillende sturingsmogelijkheden voor het realiseren van CO₂-reductie doelstellingen?

Efficiency zorgt ervoor dat er per eenheid functie minder energie wordt gebruikt. Echter, in absolute zin roeit efficiency tegen de stroom in. De groei van de welvaart en de toename van de consumptie hebben de winst die door efficiencyverbeteringen is behaald, deels tenietgedaan.

Hoewel efficiencyverbetering onontbeerlijk is, is het onvoldoende om een absolute reductie van CO₂-emissies naderbij te brengen. Om in 2020 een stabilisatie van de CO₂-emissies te realiseren op het huidige niveau, zou een verdubbeling van het huidige tempo van efficiencyverbetering nodig zijn. Gegeven de ervaringen in het verleden kan alleen een krachtig, nooit eerder vertoond overheidsbeleid een dergelijke prestatie realiseren.

Om een *absolute* reductie van CO₂-emissies te bereiken kan beleid *waarbij de kostprijs van energiefuncties stijgt* een goede aanvulling zijn omdat het extra energiebesparing oplevert. Duurdere energie levert namelijk 'meekoppelingen' op:

- extra efficiencyverbetering;
- substitutie: meer energie-extensieve producten en diensten in de plaats van energie-intensieve;
- iets minder groei van de consumptie en productie.

De overheid kan energiefuncties duurder maken via de aanschafkosten en via de energiekosten.

Mogelijkheden voor de *huishoudens* zijn:

- differentiatie van de aanschafkosten (premie op energiezuinige, boete op niet-energiezuinige apparatuur), waardoor de penetratiesnelheid van elektrische apparaten wordt afgeremd;
- regulerende normstelling voor apparaten, waardoor deze energiezuiniger, maar ook duurder worden;
- verhoging van de energieprijzen voor eindgebruikers, *mits de energiekosten transparant zijn*;
- de inzet van schone (duurdere) energie: naast de directe afname van CO₂-emissies wordt efficiency uitgelokt en energie-extensieve activiteiten gestimuleerd.

Voor *andere sectoren*, waar vaste én variabele kosten op rationele wijze worden meegenomen in de beslissing energiefuncties toe te passen, biedt sturing via de energiekosten meer perspectief dan bij de huishoudens:

- verhoging van de energieprijzen voor eindgebruikers (via heffingen, accijnzen, en/of verhandelbare emissierechten);
- de inzet van schone (duurdere) energie: hogere energiekosten zijn een stimulans voor efficiencymaatregelen en stimuleren energie-extensieve productie.

Een model op macroniveau (inclusief de kostprijs van energiefuncties) schat de benodigde inspanning in om de Nederlandse CO₂-emissies in 2020 te stabiliseren op het huidige niveau. Dit kan door een combinatie van doorgaande efficiencyverbetering, een toename van circa 1% schone energie per jaar en een verdubbeling van de reële energieprijzen voor eindgebruikers in 2020 ten opzichte van het huidige niveau.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Al sinds lange tijd is het energiebeleid van de Nederlandse overheid erop gericht om de energievoorziening schoon, betaalbaar en betrouwbaar te laten zijn¹. De afgelopen decennia heeft echter een verschuiving plaatsgevonden in de aandacht voor deze drie items. In de jaren zeventig en begin jaren tachtig (de periode tijdens en na de energiecrises) was het beleid gericht op de betrouwbaarheid, waarbij door diversificatie en energiebesparing de afhankelijkheid van de Golfregio verminderd werd.

Het afgelopen decennium kwam het energiebeleid voor een nieuwe uitdaging te staan: de dreiging van het versterkte broeikas-effect. Hierdoor verschoof de aandacht naar de milieueffecten van het energiegebruik. In 1998 zijn in Kyoto afspraken gemaakt ten aanzien van mondiale emissiereducties. Voor Nederland is het doel om de emissies zodanig te reduceren dat de Nederlandse uitstoot in de periode 2008-2012 6% onder die van 1990 zal liggen; dit binnen een Europese reductiedoelstelling van -10%. De helft van de benodigde reductie-inspanning moet worden gerealiseerd door maatregelen binnen Nederland. Dit betekent dat de groei van broeikasgasemissies, waaronder CO₂, in het komende decennium in *absolute* zin zal moeten afnemen.

Echter, de emissiereductie die door de Kyoto-afspraken gerealiseerd zal worden, is onvoldoende om de risico's van klimaatverandering weg te nemen. Volgens het IPCC is daarvoor in de geïndustrialiseerde landen een reductie van circa 80% nodig (ten opzichte van 1990)². Dit betekent dat de wereld in de periode na 2012 voor een grote uitdaging staat, zeker gezien de moeite die het kost om de huidige doelstellingen te halen.

Zowel in de periode waarin de afhankelijkheid van de Golfregio de drijfveer voor maatregelen was, als in de huidige periode waarin het klimaatprobleem noodzaakt tot beleid, is de verbetering van de efficiency (het energiegebruik per fysieke of economische eenheid) een belangrijke peiler van het energiebeleid. Voor de periode tot 2000 is het doel om de energie-efficiency met gemiddeld 1,7% per jaar te verbeteren³.

Het is de vraag of het zwaartepunt van beleid op termijn bij de verbetering van de efficiency moet blijven liggen, met name in het licht van de uitdagingen die na 2012 aan de orde zijn.

Er zijn aanwijzingen die erop wijzen dat deze beleidsrichting op den duur wellicht onvoldoende resultaat oplevert:

- de (relatieve) efficiencydoelstelling wordt niet gerealiseerd: de energiebesparing in de periode 1990-1996 wordt door het CPB geraamd op 1 tot 1,5% per jaar⁴;

¹ Vervolgnota Energiebesparing 1993.

² Houghton et al., 1996.

³ Vervolgnota Energiebesparing, 1993.

⁴ Groot en Koopmans, 1998 (in: Energiemonitor 1998-IV).

- het tempo waarin de efficiëncywinst wordt gerealiseerd, neemt af: de gemiddelde jaarlijkse mutatie van de energie-intensiteit (energiegebruik per gulden BNP) bedraagt in de periode 1982-1986 $-1,3\%$, tussen 1986-1991 $-1,0\%$ en tussen 1991-1996 $-0,9\%$ ⁵;
- de goedkoopste efficiëncymaatregelen zijn genomen; verdere energiebesparing gaat in toenemende mate gepaard met hogere kosten⁶;
- het is de vraag of de efficiëncyontwikkeling de toenemende energievraag kan compenseren. Het absolute energiegebruik neemt nog steeds toe, onder andere als gevolg van een toename van elektrische apparaten in huishoudens en de utiliteit (elektrificatie), en als gevolg van een uitbreiding van de prestaties van apparaten die gepaard gaan met extra energiegebruik (computers, televisietoestellen, stand-by mogelijkheden);
- in sommige gevallen lijken energiegebruikende activiteiten door efficiëncyverbetering aantrekkelijker te worden doordat de energiekosten afnemen (zogenoemde reboundeffect).

Gezien de absolute reductiedoelstellingen voor CO₂-emissies is het de vraag of het energiebeleid hoofdzakelijk gericht moet blijven op een verbetering van de efficiëncy, en welke alternatieven er zijn. Inzicht in de factoren die de groei van het energiegebruik veroorzaken, kan hierop antwoord geven, en mogelijke alternatieve beleidsrichtingen verkennen.

1.2 Doel en onderzoeksanpak

In deze studie worden twee vragen beantwoord:

- 1 Welke rol speelt de prijs van energiefuncties in de groei van het energiegebruik?
De hypothese is getoetst of een gedeelte van de groei verklaard kan worden door een daling van de kostprijs van energiegerelateerde functies, waarbij zowel de variabele als de vaste kosten zijn meegenomen.
- 2 Welk licht werpt het prijsmechanisme op de verschillende sturingsmogelijkheden voor het realiseren van CO₂-reductie doelstellingen?
Er is onderzocht welke invloed het prijseffect heeft bij vier potentiële sturingsstrategieën voor de toekomst, namelijk het stimuleren van efficiëncyverbetering, de inzet van schone energie⁷, het verhogen van de energieprijzen en het verhogen van de vaste kosten.

Ter beantwoording van deze onderzoeksvragen is vanuit twee invalshoeken gewerkt:

- modellering van de mechanismen achter het energiegebruik in een macromodel;
- concretisering van het gedachtegoed in een case: elektrische functies in huishoudens⁸.

⁵ Boonekamp, 1998.

⁶ Zie ook AER, 1998, p.2.

⁷ Onder schone energie wordt verstaan: energie met een lage koolstofintensiteit. Dit omvat zowel duurzame energie als schone fossiele energie (waarbij de vrijkomende CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen in de ondergrond).

⁸ Warm tapwater in huishoudens en elektrische functies in de utiliteit waren oorspronkelijk twee andere cases. Er is na een globale inventarisatie van de gegevens besloten om deze niet in het hoofdrapport op te nemen omdat de resultaten de hypothese van dit onderzoek niet ondersteunen (tapwater) dan wel dat er onvoldoende statistische gegevens voorhanden zijn (utiliteit). In bijlage E staan de resultaten weergegeven.

De bedoeling van deze studie is dat door het inzicht in de mechanismen achter de groei van het energiegebruik een aanzet wordt gegeven tot een discussie over beleidsstrategieën voor de lange termijn om (de groei van) het energiegebruik te reduceren.

In de analyse wordt het energiegebruik gerelateerd aan energiefuncties: de prestaties die met behulp van energie worden geleverd teneinde maatschappelijke behoeften te vervullen. Op die manier kan in kaart worden gebracht op welke wijze deze energiefuncties veranderen, en wat de rol van de kostprijs ervan is op het energiegebruik.

De analyse is gemaakt door directe en indirecte verbanden tussen het energiegebruik en de economische groei, het functiegebruik, en de kostprijs van energiefuncties op macroniveau te modelleren. Hierbij zijn trends in de periode 1982-1997 als input en controle gebruikt.

Om het gedachtegoed concreet te maken, is vervolgens de case elektrische functies van huishoudens onderzocht. De analyse van deze case is gebaseerd op het gedachtegoed van het macromodel. Er is onderzocht hoe de groei van het elektriciteitsverbruik (periode 1987-1997) verklaard kan worden door de mechanismen die op macroniveau beschreven zijn. Hiertoe is in kaart gebracht hoe het functiegebruik zich heeft ontwikkeld, en welke directe en indirecte mechanismen deze ontwikkeling bepaalden.

Tenslotte is een analyse uitgevoerd voor mogelijk toekomstig overheidsbeleid. Hierbij staat de vraag centraal of het inzicht in de rol van het prijseffect een nieuw licht werpt op mogelijk energiebeleid (op hoofdlijnen) voor de toekomst. Hierbij is tevens de vraag of beleid dat hoofdzakelijk gericht is op efficiencyverbetering, tegen de achtergrond van de geanalyseerde mechanismen, op lange termijn voldoende effectief is om de CO₂-emissies in absolute zin te reduceren. We geven een indicatie van de inspanningen die nodig zijn om fictieve, uitdagende doelstellingen voor CO₂-reductie te realiseren.

1.3 Afbakening

Het onderzoek heeft het gedachtegoed op het niveau van huishoudens als leidraad genomen voor de analyse. Zo onderscheidt het macromodel verbanden die gebaseerd zijn op een analyse van het huishoudelijk energiegebruik. We veronderstellen echter dat deze verbanden in grote lijnen ook op macroniveau en in andere sectoren optreden. In kwalitatieve zin is dit beargumenteerd voor de sectoren industrie, vervoer en utiliteit.

1.4 Leeswijzer

De analyse van de mechanismen van het energiegebruik start in hoofdstuk 2 met een presentatie van de ontwikkeling van het energiegebruik over de afgelopen jaren. Tevens geven we aan op welke wijze de groei gewoonlijk wordt verklaard.

In hoofdstuk 3 komt het analysekader aan bod: we leggen uit waarom we energiefuncties als aangrijpingspunt van de analyse hebben genomen en maken u bekend met de terminologie.

In hoofdstuk 4 geven we een beschrijving van de mechanismen achter de groei van het energiegebruik en van de door ons ontwikkelde modellering. We beperken ons tot hoofdlijnen. Een uitgebreide beschrijving vindt u in bijlage A, een onderbouwing van de gebruikte data in bijlage B.



In hoofdstuk 5 gaan we in op de huishoudelijke elektrische functies, die een illustratie geven van het gedachtengoed op macroniveau. Ook daar zijn alleen de hoofdzaken weergegeven. De details staan in bijlage C. Vervolgens zijn in hoofdstuk 6 de analyseresultaten geëvalueerd. De nieuwe invalshoek in deze studie heeft een aantal handicaps met zich meegebracht die zijn geëxpliciteerd. In hoofdstuk 7 is gekeken in hoeverre het denkconcept toepasbaar is voor andere sectoren.

Met hoofdstuk 7 sluiten we de retrospectieve analyse af, en richten de blik in hoofdstuk 8 naar de toekomst. We analyseren welk effect verschillende sturingsrichtingen voor beleid hebben op de geanalyseerde mechanismen. Werkt het prijseffect in het voordeel of in het nadeel van het in te zetten instrumentarium?

In hoofdstuk 9 volgen tenslotte de conclusies en aanbevelingen.

2 Energiegebruik (1982-1997) en gebruikelijke analyse

2.1 Inleiding

In deze studie is onderzocht welke mechanismen het energiegebruik doen toenemen. Hiertoe wordt in paragraaf 2.2 een beeld gegeven van de groei van het energiegebruik in de afgelopen decennia. In gebruikelijke analyses van deze groei wordt aandacht geschonken aan onder andere de effecten via het inkomen, de energie-efficiency en de energieprijs. In paragraaf 2.3 wordt dit kort toegelicht. In het hierna volgende hoofdstuk wordt aangegeven dat het energiegebruik tevens beïnvloedt wordt via de kostprijs van energiefuncties, waarbij de toevoeging van de vaste kosten het aanvullende element is ten opzichte van gebruikelijke analyses.

2.2 Ontwikkeling van het energiegebruik

Sinds het eind van de jaren zestig is het binnenlands energiegebruik meer dan verdubbeld: van ruim 1.400 PJ in 1967 tot ruim 3.000 PJ in 1997⁹. Het tempo van groei fluctueerde daarbij overigens wel: tijdens de beide energiecrises nam het energiegebruik in absolute zin af, dit in tegenstelling tot de periode daarvoor. Tussen 1982 en 1997 bedroeg de groei van het nationale energiegebruik circa 1,5% per jaar. Zie Tabel 1 voor een overzicht.

Tabel 1 Groeitempo van het energiegebruik (gemiddelde jaarlijkse mutaties in drie perioden)

| | Gemiddelde jaarlijkse mutaties (%) Periode 1967-1977 | Gemiddelde jaarlijkse mutatie (%) Periode 1977-1982 | Gemiddelde jaarlijkse mutatie (%) Periode 1982-1997 |
|----------------|---|--|--|
| Energiegebruik | 5,8% p.j. | -1,8 % p.j. | 1,5 % p.j. |

Bron: CBS

In de periode vanaf 1982 hebben alle eindverbruikerssectoren bijgedragen aan deze groei. Een relatief sterk toenemend verbruik is te zien bij de land- en tuinbouwsector, bij de dienstensector en bij transport.

Het verbruik van de huishoudens is in de tachtiger jaren enigszins gedaald; in de jaren negentig is het verbruik echter weer stijgend (met gemiddeld circa 1% per jaar)¹⁰. Dit laatste wordt met name veroorzaakt door een snel stijgend elektriciteitsverbruik (met gemiddeld circa 2,5% per jaar).

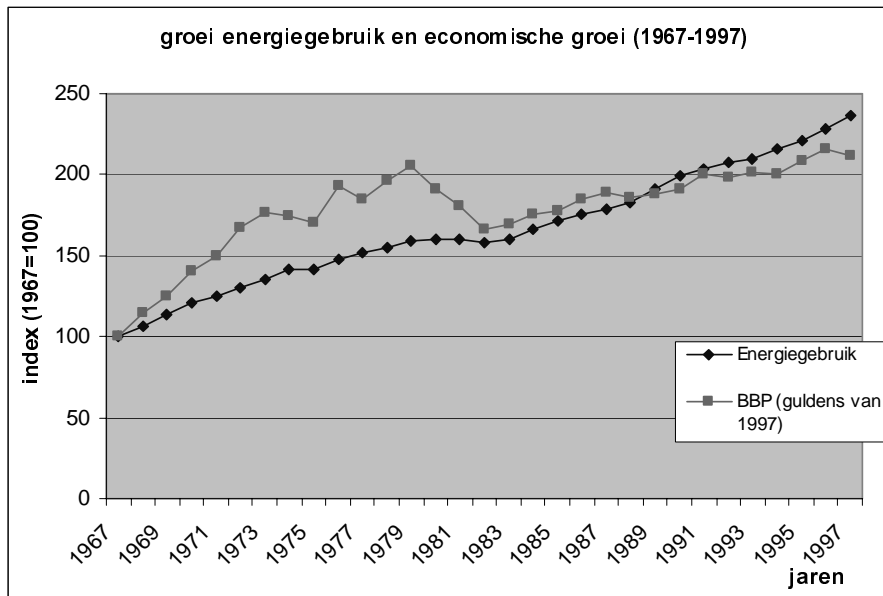
In absolute zin draagt de sector industrie het meest bij aan het (primaire) verbruik: deze sector is verantwoordelijk voor circa een derde deel van het totale verbruik.

In onderstaande figuur is de ontwikkeling van het energiegebruik grafisch weergegeven. Ter illustratie is de economische groei eveneens opgenomen.

⁹ Totaal Binnenlands Verbruik, bron CBS.

¹⁰ Boonekamp, 1998.

Figuur 1 Ontwikkeling van het energiegebruik (totaal verbruik binnenland) en de economie (reële BBP) in de periode 1967-1998



2.3 Gebruikelijke analyse

In deze paragraaf staat beschreven hoe de groei van het energiegebruik gebruikelijk wordt verklaard, gebaseerd op de benadering van het ECN en het CPB.

Veranderingen in het energiegebruik worden volgens de gebruikelijke analyse onderscheiden in drie effecten¹¹:

- *Volume-effecten*: een toename van het energiegebruik doordat het volume toeneemt: meer van hetzelfde. Redenen kunnen liggen in een stijging van het inkomen (en daarmee van de consumptie), een toename van de productie, van de bevolkingsomvang of van het aantal huishoudens. Dit zijn dus factoren die de ontwikkeling van het energiegebruik verklaren bij ongewijzigde sociaal-culturele en energetische structuren.
- *Structureffecten*: een toename van het energiegebruik door 'structurele veranderingen' in sociaal-culturele of fysieke zin, waardoor de aard van de energiegebruikende activiteiten verandert. Voorbeelden zijn:
 - veranderingen in de sectorstructuur waardoor energie-intensieve sectoren sneller of minder snel groeien dan minder energie-intensieve sectoren of de economie als geheel;
 - het feit dat de productie en consumptie steeds elektriciteitsintensiever worden door het toenemend gebruik van elektrische apparaten (elektrificatie)¹²;
 - door sloop en nieuwbouw verandert de opbouw van woningen: de verhouding tussen de verschillende typen woningen zoals rijtjeswoningen, flatwoningen en twee-onder-een-kap, en de verhouding tussen nieuwbouw en oudere bouw; dit heeft gevolgen voor met name het gemiddelde gasverbruik per woning;

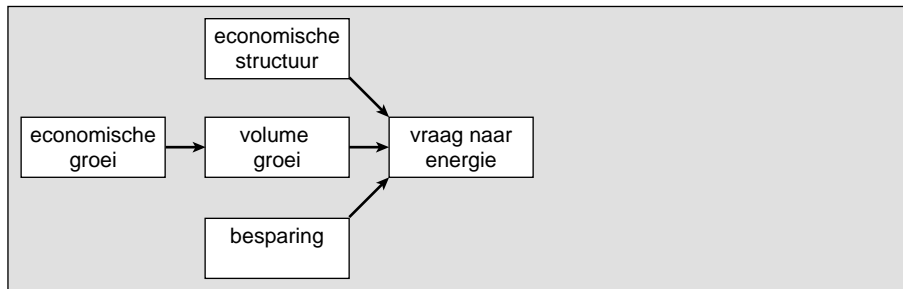
¹¹ Boonekamp, 1994; Groot en Koopmans, 1998 (in: Energiemonitor 1998-IV).

¹² De elektrificatie blijkt uit het feit dat het elektriciteitsverbruik van huishoudens sneller groeit dan de totale consumptie, en dat het elektriciteitsverbruik van bedrijven (meestal) sneller groeit dan de productie' Bron: Groot en Koopmans, 1998 (in: Energiemonitor 1998-IV).

- *Besparingseffecten*: deze effecten zorgen ervoor dat dezelfde prestatie geleverd kan worden met minder energiegebruik. Dit effect wordt bereikt met enerzijds technische wijzigingen en anderzijds door gedragsverandering.

In Figuur 2 staan de bovengenoemde effecten schematisch weergegeven.

Figuur 2 Volume-, structuur- en besparingseffect op het energiegebruik



In het energiebeleid zijn twee veelgebruikte parameters voor de gerealiseerde energiebesparing de energie-efficiency en de energie-intensiteit:

- Energie-efficiency: het energiegebruik per apparaat of per kilogram product. Dit komt overeen met het bovengenoemde besparingseffect.
- Energie-intensiteit: het energiegebruik per gulden BBP. Deze wordt berekend als het verschil tussen de groei van het energiegebruik en de economische groei¹³. Dit komt overeen met het bovengenoemde besparingseffect en structureffect tezamen.

De volgende factoren beïnvloeden het volume-, structuur- en besparings-effect:

- Economische groei: hierdoor neemt (ceteris paribus) het volume aan productie en consumptie toe, en daarmee het energiegebruik.
- Autonome technologische ontwikkeling en de technologische ontwikkeling die met behulp van overheidsbeleid is gestimuleerd: hierdoor verbetert de energie-efficiency.
- Ontwikkeling van de energieprijs: hoge energieprijzen stimuleren het nemen van energiebesparingsmaatregelen. In de jaren tachtig bijvoorbeeld is relatief veel energiebesparing gerealiseerd (een besparingseffect van $-2,2$ a $-2,7\%$ per jaar), hetgeen mede een gevolg was van de hoge energieprijzen (en een intensief beleid)¹⁴.

Overheidsbeleid heeft uiteraard op vele wijzen invloed op de ontwikkeling van het energiegebruik, waaronder de stimulering van energiebesparing via de ondersteuning en uitlokking van technologische vernieuwing en via heffingen op energie.

¹³ Groot en Koopmans, 1998 (in: Energiemonitor 1998-IV).

¹⁴ Boonekamp 1998.

Een onderbelichte factor die het energiegebruik kan beïnvloeden, is de kostprijs van de 'prestatie' die met behulp van energie geleverd wordt. Wanneer bijvoorbeeld de kostprijs van licht of koeling in prijs daalt, is volgens economische principes de verwachting dat de vraag hiernaar toeneemt, en daarmee tevens het energiegebruik. De invloed van de ontwikkeling van de kostprijs op de groei van het energiegebruik is de essentie die deze studie toevoegt aan de gebruikelijke analyses. In de volgende twee hoofdstukken wordt de gedachtegang uiteen gezet.

3 Analysekader: benadering via energiefuncties

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd waarom in deze studie het energiegebruik gerelateerd wordt aan energiefuncties, een totnogtoe niet of weinig gebruikt analysekader. Er wordt nader toegelicht wat onder energiefuncties wordt verstaan. Tevens wordt ingegaan op de voor- en nadelen zijn van een dergelijke invalshoek.

3.2 Analysekader: benadering via energiefuncties

Zoals aangegeven in het voorgaande hoofdstuk, is de invloed van de prijs (van datgene wat met energie 'gepresteerd' wordt) op het energiegebruik een tot op heden onderbelichte factor. Economische principes rechtvaardigen nader onderzoek: een prijsdaling van een goed leidt immers volgens de economische theorie tot een toename van de vraag ernaar.

Waargenomen of vermoede terugkoppelingen van efficiency ondersteunen deze hypothese. Een voorbeeld is de toename in het gebruik van spaarlampen voor buitenverlichting door huishoudens: dit kan (mede) een gevolg zijn van de lage energiekosten van een spaarlamp ten opzichte van een gloeilamp, of van een prijsdaling van de spaarlampen.

Naast de energiekosten kunnen echter ook de vaste kosten invloed hebben op het gebruik van energie: wellicht leidt het (relatief) goedkoper worden van apparaten tot een toename van het gebruik ervan (en dus tot een toename van het energiegebruik).

Om het prijseffect via de (variabele) energiekosten en de (vaste) apparaatkosten goed in kaart te brengen, is ervoor gekozen het energiegebruik te relateren aan energiefuncties. In het hierna volgende hoofdstuk wordt de werking van het prijsmechanisme nader toegelicht. In deze paragraaf gaan we in op het begrip energiefuncties.

Onder energiefuncties verstaan we prestaties die met behulp van energie worden geleverd en die maatschappelijke behoeften vervullen¹⁵. Er wordt als het ware 'achter het apparaat' gekeken en de vraag gesteld waar het de eindgebruiker in feite om gaat. Niet het bezit van een vaatwasmachine is in die zin relevant, maar het schoon worden van het serviesgoed met behulp van de vaatwasmachine. Evenzo gaat het bij verlichting niet om lampen op zich, maar om licht van een bepaalde lichtsterkte en kleur (passend bij activiteiten of sfeer).

Door het schoon geworden serviesgoed of het licht van een bepaalde lichtsterkte als uitgangspunt te nemen, kan de kostprijs worden bepaald van de uiteindelijke 'prestatie' die met energie wordt geleverd. De ontwikkeling van de kostprijs kan worden afgezet tegen de ontwikkeling van het gebruik van de functie. Zo kan worden nagegaan of de prijs invloed heeft op het gebruik

¹⁵ Door ECN wordt de term 'energiediensten' gehanteerd voor hetgeen in deze studie energiefuncties wordt genoemd.

(of de vraag). Een aantal voorbeelden die in hoofdstuk 5 nader worden uitgewerkt:

- Verlichting. Een bepaalde lichtsterkte kan met behulp van een gloeilamp worden gerealiseerd, maar ook met behulp van een spaarlamp. In het laatste geval wordt de 'prestatie' van de energiefunctie (in lumenuur) met behulp van minder energie geleverd dan in het eerste geval, en zijn de energiekosten dus lager. Daarnaast verschillen ook de aanschafkosten van de lampen. In hoeverre verschilt de (totale) kostprijs per lumenuur? En heeft dit geleid tot een verschillende ontwikkeling van het gebruik van beide type lampen?
- Koelen en vriezen. Voedingsmiddelen kunnen gekoeld en/of bevroren worden bewaard bijvoorbeeld in een kleine koelkast (zogenoemd tafelmodel), in een tweedeurskoelkast of in een vrieskast of -kist. Het energiegebruik van de apparaten verschilt. Maar verschilt het energiegebruik ook per liter koel-/vriesruimte? En hoe ontwikkelt zich de kostprijs van de 'liters koel-/vriesruimte' van deze type apparaten in de loop der tijd? Is er een relatie met het gebruik ervan?
- Wassen van wasgoed. Het wasgedrag is in de afgelopen decennia veranderd. Programma's op lagere temperaturen komen in de plaats van die met hogere temperaturen. De belading van de wasmachine verandert. De energiekosten per kilogram wasgoed veranderen als gevolg van (onder andere) veranderende wastemperaturen en beladingsgraden. In hoeverre is er een relatie tussen de kostprijsontwikkeling en het aantal kilogrammen wasgoed dat in de wasmachine wordt gewassen?

Wanneer apparaten de focus zouden zijn van de analyse, zou de ontwikkeling van de prijs en die van het gebruik niet tegen elkaar kunnen worden afgezet.

Naast de voordelen van een analyse met energiefuncties als focus, kleven hieraan ook nadelen. In de eerste plaats kan de 'prestatie' van een energiefunctie op verschillende wijzen worden gedefinieerd, waardoor de systeemgrens en de eenheid niet eenduidig zijn. Ten tweede kunnen niet alle prestaties en de veranderingen daarin, worden gevat in een bepaalde eenheid voor de functie. Enkele voorbeelden kunnen dit verduidelijken:

- Verlichting. Het gaat uiteindelijk om het verkrijgen van de lichtsterkte en lichtkleur die geschikt is om bepaalde activiteiten bij uit te voeren, of die een gewenste sfeer geeft. Het nut van dit licht is te benaderen door de lichtsterkte in lumen uit te drukken. Dit is echter een beperking want de lichtkleur en de mate van lichtspreiding komen er niet in tot uitdrukking.
- Koeling. Bij de functie koeling gaat het uiteindelijk om het gekoeld en/of bevroren houden van voedingsmiddelen. Het nut dat men hieraan ontleent, is echter moeilijk in eenheden te vangen. Het kan bijvoorbeeld afgemeten worden aan de hoeveelheid voedingsmiddelen die per persoon gemiddeld gekoeld dan wel bevroren worden bewaard, en de temperatuur ervan. Omdat gegevens hierover ontbreken, kan het functiegebruik voor koeling ook worden benaderd door de grootte van de koel-/vriesruimte die men per persoon gemiddeld tot zijn beschikking heeft. Hierin komt echter niet tot uitdrukking welke soort voedingsmiddelen worden gekoeld, en tot welke temperatuur ze (precies) worden gekoeld.
- Televisie. Het gemiddeld vermogen van een televisietoestel is sinds de zeventiger jaren afgenomen van circa 360 Watt tot circa 80 Watt¹⁶. Tegelijk heeft er een enorme kwaliteitsverbetering plaatsgevonden: de zwart-wit televisie heeft plaats gemaakt voor kleurentoestellen; momenteel doet de 100 Hz breedbeeldtelevisie zijn intrede, waardoor de kwali-

¹⁶ Slob e.a., 1996.

teit van het beeld nog verder verbetert. In het vermogen of de beeldfrequentie als eenheid is niet alle kwaliteitsontwikkeling zichtbaar.

We kiezen in de casestudies op een pragmatische wijze de eenheden voor het functiegebruik: de eenheden worden zodanig gekozen dat deze de prestatie waar het om gaat zo gedetailleerd mogelijk benaderen, en er gebruik gemaakt kan worden van beschikbare statistische gegevens.





4 Mechanismen achter het energiegebruik

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een beknopte theoretische beschrijving gegeven van de mechanismen die de groei van het energiegebruik bepalen. Paragraaf 4.2 start met een overzicht van de mechanismen, en de econometrische eindformule van het model. Een beschrijving van het model vindt u in bijlage A.

In de paragrafen 4.3 tot en met 4.6 worden de mechanismen afzonderlijk besproken. Paragraaf 4.3 licht toe dat het fossiele brandstofverbruik, waarvan de groei milieuproblemen met zich meebrengt, voor een belangrijk deel bepaald wordt door de vraag naar energiedragers. Deze vraag wordt op haar beurt bepaald door drie effecten: het inkomenseffect (besproken in paragraaf 4.4), het efficiencyeffect (besproken in paragraaf 4.5) en het prijseffect (besproken in paragraaf 4.6).

De analyse van de groei van het energiegebruik is gebaseerd op een terugblik: die effecten zijn in kaart gebracht die de groei van het energiegebruik in de afgelopen periode kunnen verklaren. Hierbij is het effect van overheidsbeleid niet apart onderscheiden. De drie genoemde effecten zijn dus inclusief de invloed van het overheidsbeleid.

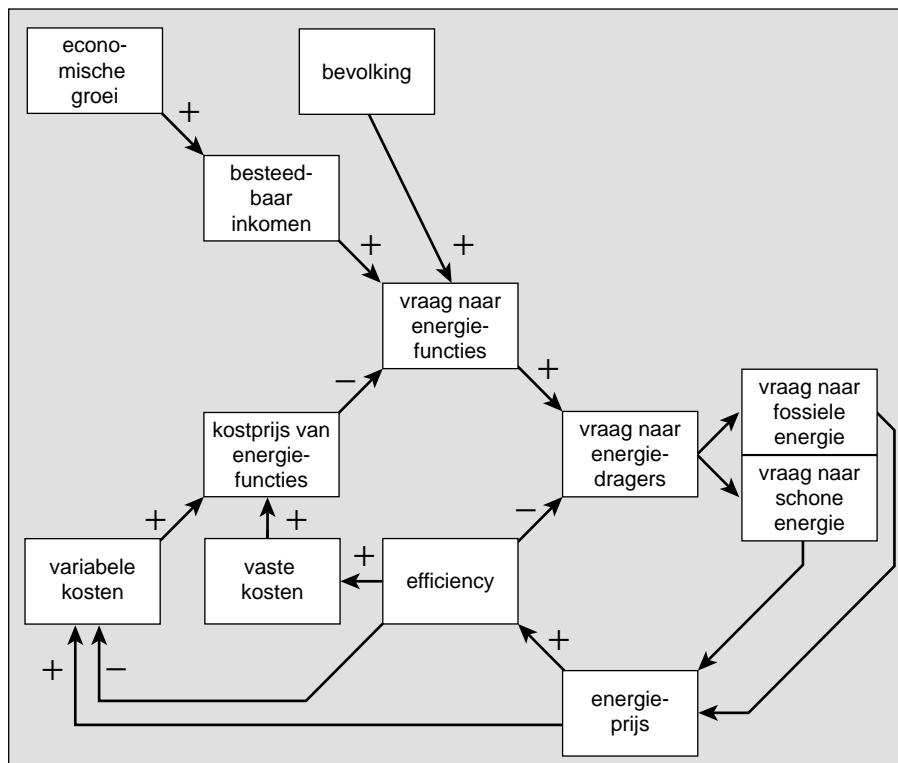
Er is vervolgens een kwantitatieve invulling gegeven aan het model met behulp van gegevens over de periode 1982-1997 (paragraaf 4.7). Er is berekend in welke mate de bovengenoemde drie effecten de groei van het energiegebruik over de betreffende periode verklaren. Op basis van deze retrospectieve analyse zijn de waarden van de autonomen, elasticiteiten en coëfficiënten bepaald en ingeschat, en is het model gecontroleerd.

Daarna is met dit model een analyse uitgevoerd naar de effecten van mogelijk toekomstig energiebeleid op hoofdlijnen. Hiertoe zijn de elasticiteiten en coëfficiënten die in de retrospectieve analyse waren gevonden, vastgezet, en is gevarieerd met de waarden van de autonome variabelen (op basis van bepaalde veronderstellingen met betrekking tot de beleidsrichtingen). De resultaten hiervan staan in hoofdstuk 8 beschreven.

4.2 Overzicht van de mechanismen

Hieronder volgt een samenvatting van de mechanismen die de groei van het energiegebruik in de afgelopen periode verklaren. De econometrische modellering ervan staat in bijlage A beschreven.

Figuur 3 Schematische weergave van de mechanismen achter het energiegebruik



Aan gebruikelijke analyses van de groei van het energiegebruik voegt deze studie de hypothese toe dat de kostprijs van energiefuncties (bijvoorbeeld de kostprijs van een lumenuur licht) invloed heeft op de vraag ernaar, en daarmee op de vraag naar energie. Deze kostprijs wordt bepaald door zowel de vaste kosten (kosten voor de aanschaf van apparatuur) als de variabele kosten (zoals energiekosten). Een daling van de kostprijs leidt tot een toename van de vraag, en daarmee van de energievraag, en omgekeerd (ceteris paribus).

Deze hypothese kan tevens worden gezien in het licht van 'vraag en aanbod'. Totnogtoe is er vooral aandacht voor de 'vraag'-factoren die invloed hebben op het energiegebruik. 'Vraag' betreft hier de vraag van eindgebruikers naar allerlei activiteiten waarvoor energie nodig is. Het inkomen bepaalt (mede) deze vraag, en de efficiency beïnvloedt het energiegebruik per eenheid van die activiteit. Verder hebben leefwijzen invloed op de vraag. De analyse in deze studie legt meer nadruk op de 'aanbod'-kant: de kenmerken van de energiefuncties zoals die worden 'aangeboden'. Het gaat met name om de rol die de prijs van energiefuncties speelt in de toename van het gebruik van die functies.

De analyse richt zich op het in beeld brengen van de factoren die de groei van de CO₂-emissies verklaren, gedacht vanuit de eindgebruikers van energie¹⁷. De CO₂-emissies hangen samen met het gebruik van fossiele brandstoffen; preciezer geformuleerd: met de CO₂-intensiteit van de gebruikte energie. Duurzame energie ligt aan de ene kant van het spectrum, kolen aan de andere kant. De mate waarin duurzame energie of schone fossiele ener-

¹⁷ Dit zijn zowel consumenten als de eindgebruikers in het bedrijfsleven, de overheid, en andere sectoren.

gie wordt ingezet, heeft dus invloed op de CO₂-emissies van het energiegebruik¹⁸.

De groei van de totale energievraag wordt bepaald door de vraag naar energiedragers bij eindgebruikers. Deze is een resultante van (zie Figuur 3):

- *een groeiend functiegebruik*: meer lumenuur, meer kubieke meters koeling of meer uren computergebruik gaan gepaard met een toenemend energiegebruik (ceteris paribus);
- *efficiencyverbetering*: een verbetering van de efficiency leidt tot een evenredige afname van de vraag naar energie (ceteris paribus): per eenheid energiefunctie is immers minder energie nodig¹⁹. Hoewel efficiencyverbetering onontbeerlijk is om te voorkomen dat de toename van het energiegebruik veel groter is dan de huidige trend, kan het echter de toename door het groeiend functiegebruik niet compenseren: het energiegebruik neemt immers in absolute zin toe.

De groei van het functiegebruik is op haar beurt een resultante van twee effecten (zie Figuur 3):

- *inkomenseffect*: de groei van het inkomen (consumenten) of die van de toegevoegde waarde (bedrijfsleven) geven ruimte aan bestedingen, waaronder die aan energiefuncties. Dit effect is de belangrijkste aanjager van de groei: ceteris paribus zouden deze bestedingen leiden tot een energiegebruik dat bijna twee keer zo hard stijgt als de huidige trend (bijna 3% per jaar);
- *prijseffect*: de kostprijs van energiefuncties is dalend, en leidt tot een toename van de vraag ernaar (ceteris paribus). Het effect is qua omvang gelijk aan ongeveer een vijfde deel van het inkomenseffect. De groei van het energiegebruik komt dientengevolge circa 50% hoger uit dan men op grond van het inkomens- en efficiencyeffect zou verwachten²⁰.

De mechanismen worden in de volgende paragrafen toegelicht. In volgend kader staat een samenvatting in formulevorm gepresenteerd.

¹⁸ We maken onderscheid tussen schone energie en fossiele energie. Onder schone energie verstaan we energie die bij gebruik geen of nauwelijks CO₂-emissies naar de atmosfeer veroorzaakt. Naast duurzame energie kan ook fossiele energie schoon zijn: door CO₂ uit de rookgassen te verwijderen of door de brandstof chemisch in CO₂ en waterstof te ontleden en vervolgens het CO₂ via injectie in de ondergrond te bergen (zie Bezinningsgroep Energiebeleid, 2000).

¹⁹ N.B. In deze studie wordt energie-efficiency gedefinieerd als het energiegebruik *per functie-eenheid*.

²⁰ Berekening: indirecte effecten dragen voor 0,5%-punt bij aan de groei; dit is 50% van de verwachte groei op basis van het inkomens- en efficiencyeffect (1,06%).

$$\overset{\circ}{B}_t = \overset{\circ}{E}_t - \frac{\overset{\circ}{D}_{aut}}{1 - \overset{\circ}{D}_{aut}} \cdot \overset{\circ}{D}_{aut} \quad (1)$$

$$\overset{\circ}{E}_t = J + \beta Y_{aut} - \chi Q_{vast,aut} - [\chi(\delta v - w) + 1] \overset{\circ}{N}_{aut} + [\alpha - \chi w - \alpha \chi(\delta v - w)] \overset{\circ}{P}_t \quad (2)$$

Waarbij:

| | |
|---------------------------------|---|
| $\overset{\circ}{B}_t$ | : relatieve verandering van het fossiele brandstofverbruik in jaar t |
| $\overset{\circ}{E}_t$ | : relatieve verandering van het gebruik van energiedragers in jaar t (Joules) |
| $\overset{\circ}{D}_{aut}$ | : het aandeel schone energie in het totale gebruik van energiedragers in jaar t |
| $\overset{\circ}{D}_{aut}$ | : relatieve verandering van het aandeel schone energie in het totale gebruik van energiedragers in jaar t |
| $\overset{\circ}{J}_t$ | : relatieve verandering van de omvang van de bevolking in jaar t |
| $\overset{\circ}{Y}_t$ | : relatieve verandering van het inkomen per capita in jaar t |
| $\overset{\circ}{Q}_{vast,aut}$ | : relatieve verandering van de vaste kosten van energiefuncties in jaar t |
| $\overset{\circ}{N}_{aut}$ | : relatieve verandering van de energie-efficiency in jaar t (Joules per functie eenheid) |
| $\overset{\circ}{P}_t$ | : relatieve verandering van de reële eindgebruikersprijs per eenheid energie |
| β : | inkomenselasticiteit van het functiegebruik |
| χ : | negatieve van de kostprijselasticiteit van het functiegebruik (kostprijs = kostprijs van energiefuncties) |
| δ : | effect van efficiency op de vaste component van de kostprijs van energiefuncties |
| α : | prijselasticiteit van de efficiency voor de prijs van energiedragers voor eindgebruikers |
| v : | aandeel van vaste kosten in de kostprijs van energiefuncties |
| w : | aandeel van variabele kosten in de kostprijs van energiefuncties |

De groei van het gebruik van energiedragers is een optelling van de verschillende effecten, die in formule (2) te herkennen zijn als de termen aan de rechterkant van het isgelijktteken. In de hierna volgende paragrafen zullen deze effecten breedvoeriger worden beschreven, en zal worden aangegeven waar in bovenstaande formules deze zijn weergegeven.

4.3 Vraag naar energiedragers door eindgebruikers

De start van de analyse is het nationale gebruik van fossiele brandstof: dit is immers het gedeelte van het energiegebruik waarvan de huidige groei een zorg is voor het energie- en milieubeleid. Dit is primaire energie, dus (nog) niet geconverteerd in energiedragers. Het gaat voornamelijk om aardgas, aardolie en steenkool.

Naast fossiele brandstof wordt duurzame energie ingezet: energie uit wind en waterkracht, of met de zon of biomassa als energiebron. Ook is het mogelijk schone fossiele energie te gebruiken: energie die bij gebruik geen of nauwelijks CO₂-emissies naar de atmosfeer veroorzaakt. Dit kan door CO₂ uit de rookgassen te verwijderen of door de brandstof chemisch in CO₂ en waterstof te ontleden, en vervolgens het CO₂ via injectie in de ondergrond te bergen²¹. Momenteel is de bijdrage van schone fossiele energie buiten en-

²¹ Zie ook: Bezinningsgroep Energiebeleid, 2000.

kele chemische bedrijfstakken nog nihil. We noemen duurzame en schone fossiele energie in het hierna volgende 'schone energie' omdat bij beide vormen de CO₂-emissies nihil of minimaal zijn.

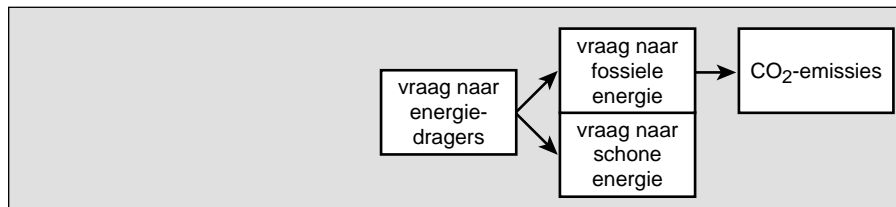
Fossiele en schone energie vormen tezamen het totaal binnenlands energiegebruik zoals dat in paragraaf 2.2 is gepresenteerd. De ontwikkeling van schone energie heeft invloed op die van fossiele omdat bij een toenemend gebruik van de eerste, fossiele energie in een afnemend gedeelte van de totale vraag voorziet (bij gelijkblijvende vraag). Hierdoor nemen de CO₂-emissies af.

Naast het aandeel van schone energie in de totale energievoorziening heeft de efficiency van de productie en distributie van energiedragers invloed op het fossiele brandstofverbruik. Een gedeelte van de fossiele brandstoffen (zoals kolen, olie en een gedeelte van het aardgas) wordt voor gebruik geconverteerd naar secundaire energiedragers (onder andere elektriciteit en motorbrandstoffen). De efficiency waarmee deze productie plaatsvindt en de efficiency waarmee energiedragers worden getransporteerd, beïnvloeden de hoeveelheid fossiele brandstoffen die nodig zijn om de gevraagde hoeveelheid secundaire energiedragers te kunnen leveren. Deze efficiency wordt in de modellering buiten beschouwing gelaten²².

Het totaal binnenlands energiegebruik (dus fossiel én schoon) wordt bepaald door de vraag naar energiedragers bij de eindgebruikers²³.

In Figuur 4 wordt schematisch getoond dat het totaal binnenlands energiegebruik bestaat uit fossiele en schone energie, en dat deze bepaald worden door de vraag naar energiedragers.

Figuur 4 Samenhang tussen het fossiele brandstofverbruik en de vraag naar energiedragers



In paragraaf 4.2 is dit in formule (1) eveneens weergegeven. Hier staat de relatieve groei van het brandstofverbruik links van het is-gelijk-teken. Rechts staat aangegeven dat deze wordt bepaald door de ontwikkeling in de vraag naar energiedragers (eerste term) en de ontwikkeling van het aandeel van schone energie in de totale energievoorziening (tweede term).

In de hierna volgende paragrafen concentreren we ons op de factoren die de ontwikkeling van de vraag naar energiedragers bepalen.

²² De reden hiervoor is, dat de efficiency in de afgelopen decennia nauwelijks is veranderd, en niet gezien wordt als belangrijke stuurvariabele voor de toekomst. Bron: SEP, 1997.

²³ Bij de eindgebruikers vindt het finaal verbruik van energiedragers plaats.

4.4 Inkomenseffect en bevolkingsgroei

Het inkomen heeft invloed op de vraag naar energiedragers omdat (ceteris paribus) een toename van het inkomen leidt tot een toename van de vraag naar energiefuncties, en daarmee tot een stijging van de vraag naar energie. Dit wordt hieronder toegelicht.

De vraag naar energiedragers is een afgeleide van de vraag naar energiefuncties, de 'prestatie' zoals een bepaalde lichtsterkte, of het aantal kilogrammen gewassen wasgoed. Immers, een toenemend functiegebruik genereert (bij een gelijkblijvende efficiency) een stijging van het gebruik van energiedragers: meer lichtpunten of het langer laten branden van lampen gaat gepaard met een toenemend energiegebruik.

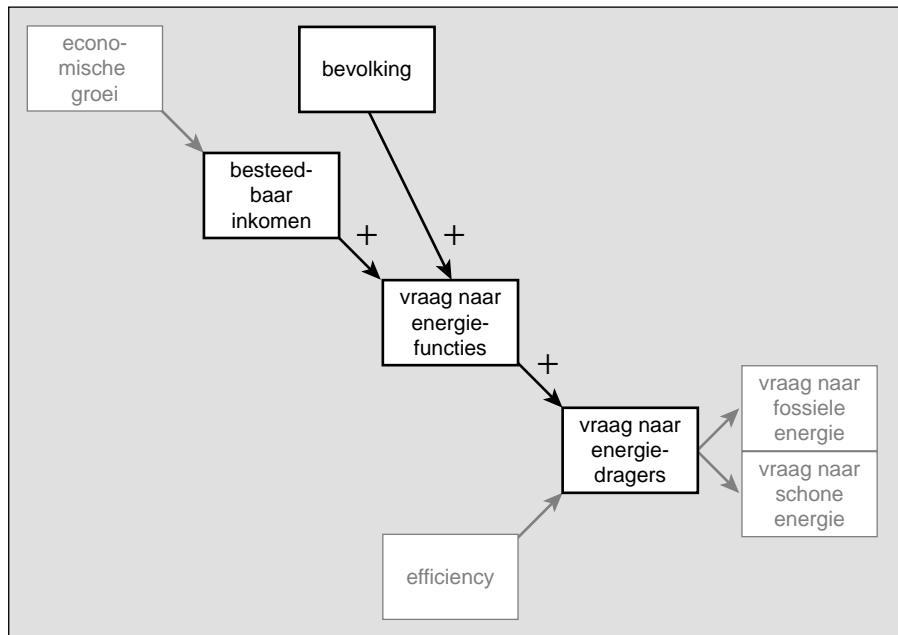
De totale vraag naar energiefuncties zal (voor huishoudens) afhangen van het besteedbaar inkomen. Bij een stijgend inkomen is er meer ruimte om geld uit te geven, onder andere aan zaken die gepaard gaan met een energiegebruik. De mate waarin de energiefuncties meestijgen met een toename van het inkomen, wordt bepaald door de inkomenselasticiteit van het functiegebruik.

Voor het bedrijfsleven moet in plaats van het inkomen de omzet worden gelezen. Voor de overheid zijn dit de overheidsuitgaven, met name de consumptieve bestedingen en de investeringen.

We maken onderscheid tussen het effect van de inkomensontwikkeling per capita en het effect van bevolkingsgroei. Immers, méér mensen met consumptieve behoeften betekent een toename van de vraag naar energiefuncties, en van de vraag naar energie. De inkomensontwikkeling per capita veronderstellen we te zijn gerelateerd aan de economische ontwikkeling.

In Figuur 5 is het directe inkomenseffect weergegeven door de pijlen tussen besteedbaar inkomen, de vraag naar energiefuncties en die naar energiedragers. Het komt overeen met het volume-effect in de gebruikelijke analyse. Het effect van de bevolkingsgroei is weergegeven door de pijl tussen bevolkingsgroei en vraag naar energiefuncties.

Figuur 5 Schematische weergave van het inkomenseffect en het effect van bevolkingsgroei



In formule (2) in paragraaf 4.2 is het effect van de bevolkingsgroei weergegeven in de eerste term. Het inkomenseffect is weergegeven in de tweede term: het product van de groeivoet van het inkomen en de inkomenselasticiteit.

4.5 Efficiencyeffect

De vraag naar energiedragers wordt niet alleen bepaald door de vraag naar energiefuncties, maar tevens door de wijze waarop aan deze vraag wordt voldaan: de energie-efficiency. Een spaarlamp gebruikt bijvoorbeeld 5 à 6 keer minder energie dan een gloeilamp om dezelfde lichtsterkte te genereren²⁴.

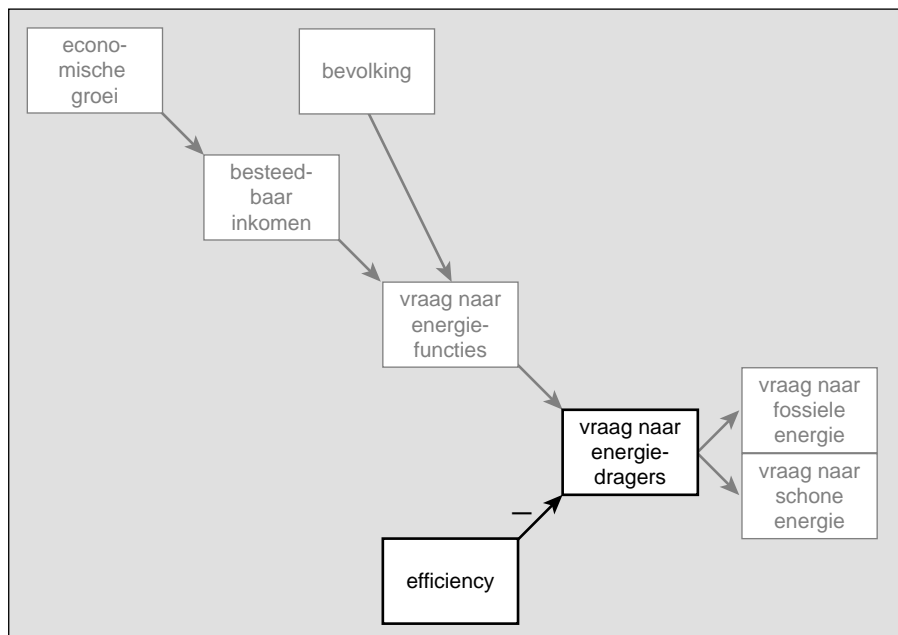
Het begrip efficiency houdt in deze studie in: het energiegebruik per eenheid energiefunctie, bijvoorbeeld de hoeveelheid elektriciteit per lumenuur.

Een verbetering van de efficiency leidt tot een daling van de vraag naar energiedragers. Immers, per eenheid energiefunctie (bijvoorbeeld per lumenuur) wordt minder energie gebruikt terwijl dezelfde mate van comfort geleverd wordt.

In Figuur 6 is het directe efficiencyeffect schematisch weergegeven door de pijl tussen efficiency en het gebruik van energiedragers.

²⁴ Philips, 1999.

Figuur 6 Schematische weergave van het directe efficiencyeffect



De efficiencyontwikkeling is een resultante van twee ontwikkelingen, waarvan alleen de eerste een direct effect is:

- **Autonome efficiencyverbetering**
Energiegebruikende apparaten zijn gemiddeld energiezuiniger dan tien jaar geleden. Dit is het resultaat van technologische ontwikkelingen die autonoom plaatsvonden en die een reactie zijn op overheidsbeleid.
- **Energieprijs**
De energieprij is een stimulans om bij het vervangen van apparaten te kiezen voor een energiezuinige variant. Op dit indirecte effect wordt in de volgende paragraaf ingegaan.

In formule (2) in paragraaf 4.2 is het (directe) efficiencyeffect weergegeven in de vierde term, en wel in het gedeelte $-\dot{N}^{aut}$. Het komt globaal overeen met het besparingseffect in gebruikelijke analyses. Het verschil is, dat in deze analyse de efficiency wordt uitgedrukt als energiegebruik per eenheid energiefunctie, en in gebruikelijke analyses als energiegebruik per fysieke eenheid, bijvoorbeeld per kilogram product²⁵.

4.6 Prijs effect

Naast het inkomens- en efficiencyeffect speelt de kostprijs van energiefuncties (in reële termen) een rol in het verklaren van de groei van het energiegebruik. Bedoeld wordt bijvoorbeeld de reële kostprijs per lumenuur. Het idee is dat men meer energiefuncties gaat gebruiken naarmate deze verkregen kunnen worden tegen een lagere prijs.

Wanneer bijvoorbeeld een lumenuur verlichting goedkoper wordt, kan dit bijdragen aan het aanschaffen van extra lichtpunten, maar ook tot het langer laten branden van de lampen die men in bezit heeft. Hetzelfde geldt voor bijvoorbeeld het wassen van wasgoed: het dalen van de kosten per kilogram

²⁵ Energie-intensiteit is een andere maat voor de energie-efficiency, die wordt uitgedrukt in energiegebruik per eenheid BNP.

wasgoed kan bijdragen aan een toename van de wasfrequentie, of aan een afname van de beladingsgraad (vaker kleinere wassen).

De prijselasticiteit van het functiegebruik voor deze kostprijs geeft aan in welke mate de vraag reageert op een verandering van de kostprijs. De toe- of afname van de vraag naar energiefuncties leidt vervolgens tot een evenredige verandering van de vraag naar energiedragers.

De kostprijs van energiefuncties wordt beïnvloed door (i) de vaste kosten (apparaatkosten), (ii) de variabele kosten (met name energiekosten). De reële kostprijs van een lumenuur verlichting bestaat bijvoorbeeld uit:

- vaste kosten: de reële aanschafkosten per lamp toegerekend aan een lumenuur²⁶;
- variabele kosten: reële elektriciteitskosten per lumenuur.

De variabele kosten worden beïnvloed door (i) efficiencyverbetering en (ii) door de energieprijis. Deze grootheden hebben daarmee een indirect effect op het energiegebruik: via de kostprijs leiden ze tot een verandering van de vraag naar energiefuncties, die vervolgens een verandering van in de energievraag met zich meebrengt²⁷.

In onderstaande paragrafen zijn deze indirecte mechanismen op het energiegebruik beschreven.

4.6.1 Indirect effect van de reële vaste kosten

De reële vaste kosten per functie-eenheid ondergaan in de loop der tijd een verandering als gevolg van:

- de ontwikkelingen in de aanschafprijs van apparaten;
- de inflatie;
- de ontwikkeling van het aantal functie-eenheden per apparaat.

Een prijsverandering van de vaste kosten werkt door in de totale kostprijs van energiefuncties. Hierbij is de verhouding tussen vaste en variabele kosten relevant: wanneer de vaste kosten een groot gedeelte van de totale kosten beslaan, zal de prijsverandering (van de vaste kosten) sterker doorwerken in de totale kosten dan wanneer het gedeelte vaste kosten relatief klein is.

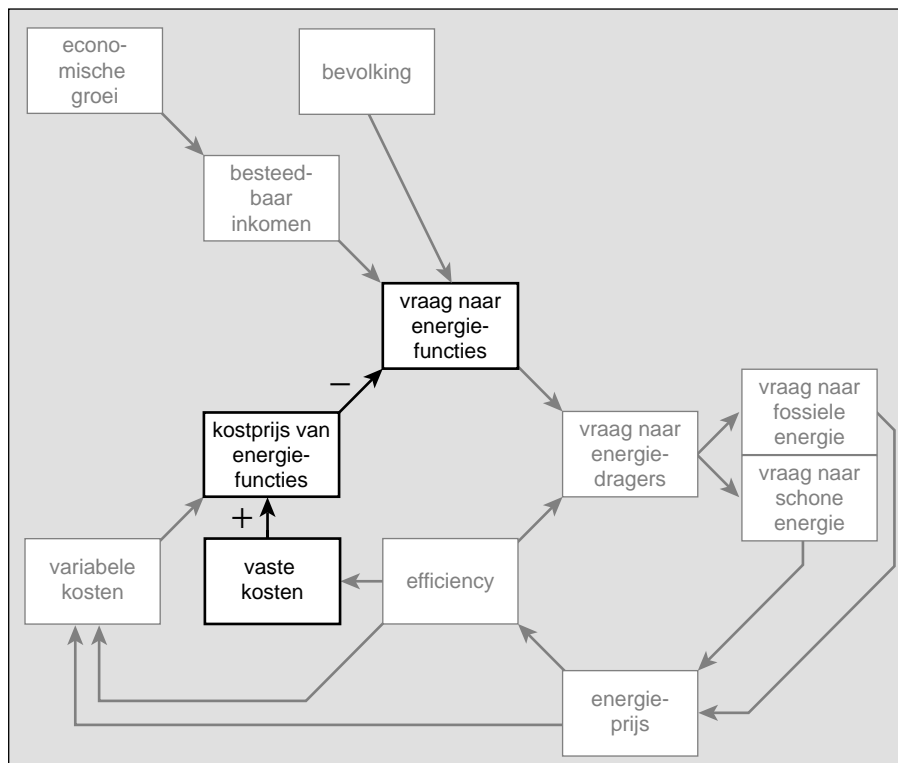
Samenvattend zal een daling van de vaste kosten leiden tot een toename van het energiegebruik en omgekeerd.

In Figuur 7 is het effect van de vaste kosten op de totale kostprijs weergegeven door de pijl tussen deze twee parameters. In formule (2) in paragraaf 4.2 is het (directe) efficiencyeffect weergegeven in de derde term: het product van de relatieve verandering van de vaste kosten, de kostprijselasticiteit en het aandeel van de vaste kosten in de totale kostprijs van energiefuncties.

²⁶ Met behulp van het gemiddeld vermogen en de lumen-watt verhouding per type lamp.

²⁷ Ter verduidelijking het volgende voorbeeld: een verbeterde efficiency van lampen of een lagere kilowattuurprijs voor eindgebruikers leidt tot lagere kosten per lumenuur. Dit heeft een daling van de totale kostprijs van een lumenuur tot gevolg, hetgeen kan leiden tot een toename in het gebruik van verlichting.

Figuur 7 Schematische weergave van het indirecte effect van de vaste kosten



4.6.2 Indirecte effecten van efficiencyverbetering

Efficiencyverbetering heeft twee indirecte effecten: het beïnvloedt de variabele en de vaste kosten. In formule (2) in paragraaf 4.2 zijn deze indirecte effecten weergegeven in de vierde term, en wel in het gedeelte $\chi (\delta v - w) \dot{N}_{aut}$.

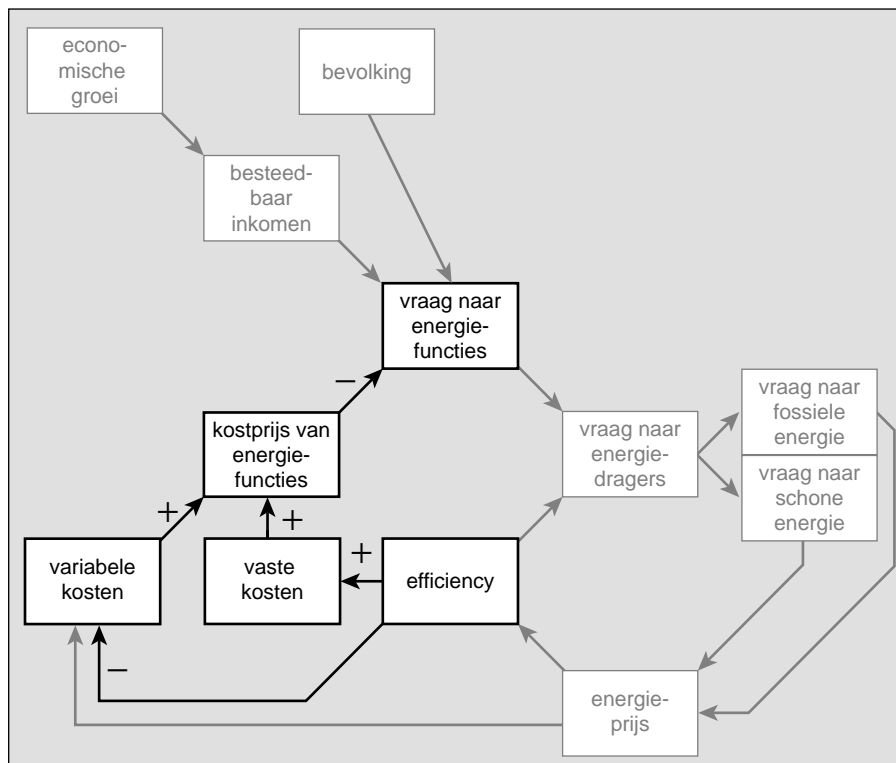
Indirect effect (van de efficiencyverbetering) via de variabele kosten

De variabele (energie)kosten zijn afhankelijk van de hoeveelheid energie die nodig is om de betreffende hoeveelheid functie te kunnen leveren. Een spaarlamp gebruikt bijvoorbeeld minder energie per lumenuur dan een gloeilamp, en is daarmee (per lumenuur) goedkoper in het gebruik.

Een daling van de energiekosten (als gevolg van efficiencyverbetering) leidt tot een daling van de totale kostprijs van energiefuncties. Hierbij is de verhouding tussen vaste en variabele kosten wederom relevant: wanneer de variabele kosten een groot gedeelte van de totale kosten beslaan, zal de daling ervan sterker doorwerken in de totale kosten dan wanneer het gedeelte relatief klein is.

In Figuur 8 is dit effect van de efficiency op de kostprijs schematisch weergegeven met de pijlen (i) tussen de efficiency en de variabele kosten, en (ii) tussen de variabele en totale kostprijs.

Figuur 8 Schematische weergave van de indirecte effecten van efficiencyverbetering



Door de kostprijddaling zal een verbetering van de efficiency tot een toename van het energiegebruik leiden en omgekeerd. Dit effect staat bekend als het reboundeffect. Een voorbeeld is de toename van het gebruik van spaarlampen voor buitenverlichting.

Indirect effect (van de efficiencyverbetering) via de vaste kosten

Een relatief klein effect op de vaste kosten komt voort uit het feit dat energiezuinige technieken en apparaten gewoonlijk iets duurder zijn dan de conventionele variant. Zo zijn energiezuinige (A-merk) witgoedapparaten momenteel circa 10-15% duurder dan de niet-energiezuinige²⁸.

De hogere vaste kosten leiden tot een kleine verhoging van de totale kostprijs (wederom afhankelijk van de verhouding tussen de vaste en variabele kosten).

Vervolgens heeft dit een verlaging van de functievraag tot gevolg, en leidt daarmee tot een daling van de vraag naar energiedragers.

Samenvattend leidt een verbetering van de efficiency via de vaste kosten tot een (geringe) afname van de vraag naar energiedragers. Dit effect ondersteunt dus het directe effect van efficiencyverbetering.

In Figuur 8 is dit effect weergegeven door de pijlen (i) van efficiency naar de vaste kosten, en (ii) van vaste kosten naar de totale kostprijs.

4.6.3 Indirecte effecten van de energieprijzen

Een verandering in de prijs van energiedragers heeft invloed op het variabele gedeelte van de kostprijs en op de efficiency. Hierdoor wordt op indirecte wijze de vraag naar energie beïnvloed.

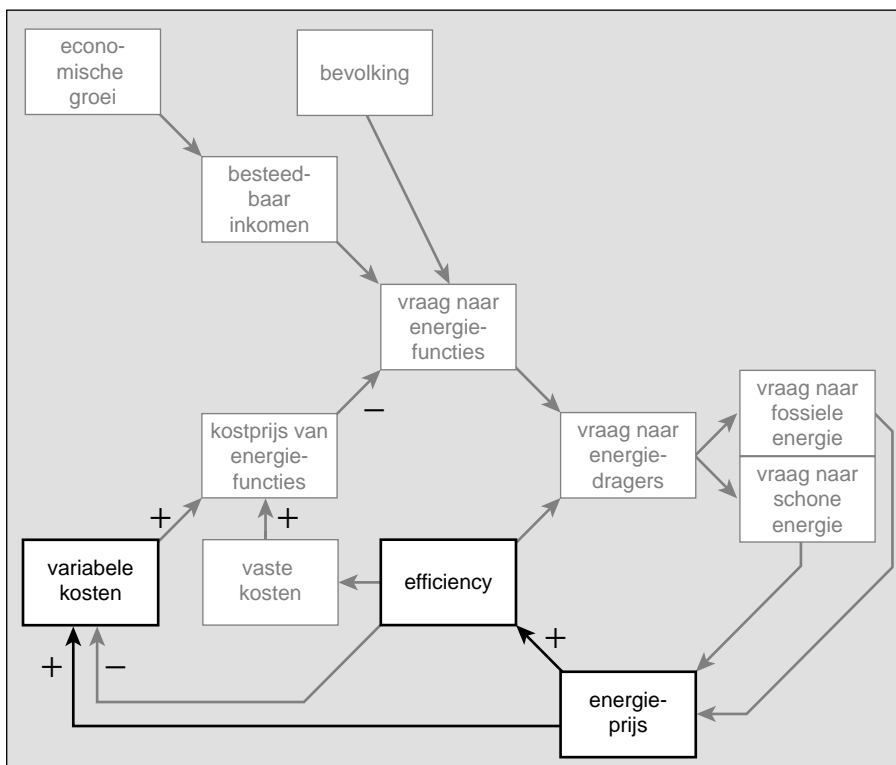
²⁸ Volgens telefonische informatie van een witgoedfabrikant.

Indirect effect (van de energieprij) via de variabele kosten

Een verandering van de eindgebruikersprijs voor energie beïnvloedt de variabele kosten van energiefuncties: wanneer energie duurder wordt, nemen de energiekosten evenredig toe, en omgekeerd (bij gelijkblijvende efficiency en functiegebruik). Een toename van de prijs van een kilowattuur elektriciteit bijvoorbeeld leidt tot een toename van de kostprijs van een lumenuur. IN theorie is het gevolg hiervan, dat de functievraag (lichtgebruik) afgeremd wordt, en daarmee ook de vraag naar energiedragers (kilowattuur).

In Figuur 9 is dit effect weergegeven door pijlen van (i) de eindgebruikersprijs van energie naar de variabele kosten, en (ii) van de variabele kosten naar de totale kostprijs.

Figuur 9 Schematische weergave van de indirecte effecten van de energieprij



Indirect effect (van de energieprij) via de efficiency

Een verandering in de eindgebruikersprijs voor energie beïnvloedt de efficiency: een prijsstijging is een stimulans tot het nemen van energiebesparingsmaatregelen, zoals bijvoorbeeld de keuze voor een energiezuinig type apparaat²⁹. Vervolgens leidt deze efficiencyverbetering tot de twee hierboven beschreven effecten: het directe en indirecte effecten van efficiency.

In Figuur 9 is dit indirecte effect van de energieprij via de efficiency weergegeven via de pijl van de eindgebruikersprijs van energie naar de efficiency, waar het vervolgens de al geschetste banen doorloopt van.

²⁹ Het effect van een prijsdaling is minder sterk dan dat van een prijsstijging: maatregelen die al genomen zijn en apparatuur die is aangeschaft worden als gevolg van de prijsdaling niet vervangen door minder energiezuinige. Wel worden de besparingen die via gedragsaanpassingen worden gerealiseerd door een energieprijzdaling ontmoedigd.

Toelichting met behulp van trend in periode 1982-1997

In bovenstaande paragrafen is een analyse gepresenteerd van de mechanismen die de groei van het energiegebruik verklaren. Drie mechanismen, het inkomens-, efficiency- en prijseffect, zijn besproken. In deze paragraaf wordt beredeneerd welk gedeelte van de trendmatige groei van het energiegebruik in de periode 1982-1997 (gemiddeld 1,5% per jaar) door deze mechanismen wordt bepaald³⁰.

De analyse in deze paragraaf is gebaseerd op een 'terugblik': op basis van gegevens over de ontwikkeling van het energiegebruik en de daarmee samenhangende factoren over de zichtperiode. Met behulp van het theoretisch model en gegevens over de waarden van de autonome variabelen, coëfficiënten en elasticiteiten voor zover bekend, is de bijdrage van de mechanismen berekend. De uitkomsten moeten gezien worden als indicatie vanwege onnauwkeurigheden in het basismateriaal.

Door opneming van de gevonden waarden in formule (2) in paragraaf 4.2 ontstaat de volgende formule:

$$\dot{E}_t = J + 1,1 \dot{Y}_{aut} - 0,17 \cdot \dot{Q}_{vast,aut} - 0,84 \dot{N}_{aut} - 0,40 \dot{P}_t \quad (3)$$

Hieronder wordt een verantwoording gegeven voor de waarden van elasticiteiten en coëfficiënten, en wordt aangegeven wat de relatieve verandering is geweest van de verschillende autonomen.

Bevolkingsgroei

De bevolking van ons land is in de periode 1982-1997 toegenomen van 14,3 tot 15,5 miljoen inwoners, hetgeen een gemiddelde stijging is van 0,5% per jaar. De groei van het energiegebruik wordt voor 0,5%-punt verklaard door deze toename.

Inkomenseffect

Hieronder wordt aangegeven welk gedeelte van de groei van het energiegebruik in de periode 1982-1997 door het inkomenseffect verklaard kan worden.

Het inkomen (reëel BBP) is in de zichtperiode met gemiddeld 2,6% per jaar toegenomen; per capita is dat 2,1% per jaar. Deze groei leidt tot een toename van het functiegebruik, en daarmee tot een toename van het gebruik van energiedragers. De inkomenselasticiteit van het functiegebruik geeft aan in welke mate dit het geval is³¹.

Er zijn geen onderzoeken beschikbaar waarin de waarde van deze elasticiteit is bepaald. In deze studie is de elasticiteit bepaald aan de hand van andere (wel beschikbare) gegevens, waarbij voor de afleiding van de gebruikte

³⁰ In de voorgaande paragrafen heeft de analyse zich toegespitst op een verklaring van de groei van energiedragers, en uiteindelijk, van het fossiele brandstofverbruik. We nemen aan dat de ontwikkeling van het totaal binnenlands verbruik over de periode 1982-1997 (1,5% per jaar) representatief is voor de ontwikkeling van de vraag naar energiedragers in deze periode: in deze periode is het rendement van de productie en distributie van energiedragers nagenoeg niet veranderd, evenmin als het aandeel duurzame energie in de totale energievoorziening.

³¹ Onder de veronderstelling dat het energiegebruik leidt tot een evenredige toename van het energiegebruik.

formule wordt verwezen naar bijlage A. De waarde van de elasticiteit is ingeschat op 1,1. Dit betekent dat een toename van het inkomen leidt tot een iets meer dan evenredige toename van het functiegebruik. Zie de eerste term in formule (3).

De toename van het inkomen per capita met 2,1% per jaar leidt daarmee tot een toename van het gebruik van energiedragers met 2,4% per jaar.

Efficiencyeffect

Hieronder wordt aangegeven welk gedeelte van de groei van het energiegebruik in de periode 1982-1997 door het directe efficiencyeffect verklaard kan worden.

In de zichtperiode is de energie-efficiency per fysieke eenheid (per kilogram product of per apparaat) naar inschatting met gemiddeld circa $-1,6$ tot $-2,1\%$ per jaar verbeterd³².

De efficiency per fysieke eenheid komt niet geheel overeen met die per functie-eenheid. Zo speelt bijvoorbeeld in het energiegebruik per wasprogramma de belading van de wasmachine geen rol. In het energiegebruik per kilogram wasgoed echter wel: dit kan verbeteren door de belading van de wasmachine te verhogen.

Het onderscheid tussen de beide vormen van efficiency is echter waarschijnlijk gering. Omdat geen gegevens beschikbaar zijn over de ontwikkeling van de efficiency per functie-eenheid, wordt het besparingseffect zoals dat berekend wordt door het ECN hiervoor als trend genomen, waarbij uitgegaan wordt van een gemiddelde van $-1,8\%$ per jaar.

Een verbetering van de efficiency met $-1,8\%$ per jaar leidt tot een directe afname van het gebruik van energiedragers met $-1,8\%$ per jaar.

Prijseffect

Drie grootheden hebben invloed op de kostprijs van energiefuncties: de (reële) vaste kosten van energiefuncties, de efficiency en de energieprijzen (zoals beschreven in paragraaf 4.6). Het gebruik van energiefuncties reageert vervolgens op die verandering van de kostprijs. De toe- of afname in het functiegebruik leidt tenslotte tot een verandering van het gebruik van energiedragers.

Hieronder wordt aangegeven hoe groot de bijdrage van de drie indirecte effecten is op de trendmatige groei van het gebruik van energiedragers in de periode 1982-1997. Voor een precieze kwantitatieve toelichting wordt verwezen naar bijlage B.

- *Indirecte effect van de reële vaste kosten van energiefuncties*

De reële vaste kosten van energiefuncties (dus de kosten voor de aanschaf van apparatuur, per functie-eenheid) zijn naar inschatting in de zichtperiode gemiddeld met 0,8% per jaar afgenomen.

De prijsdaling van gemiddeld circa 0,8% per jaar leidt in de modelberekening tot een toename van het gebruik van energiedragers met circa 0,1% per jaar, bij een prijselasticiteit van $-0,4$ ³³. Zie de derde term van formule (3).

³² Op basis van de trend over de periode 1982-1996 in: Boonekamp, 1998, p.45 (gemiddelde boven en onderwaarde over de drie periodes). Volgens mondelinge mededeling van Boonekamp is dit gemiddelde te gebruiken als redelijke schatting voor de periode 1982-1997. De verbetering van de efficiency heeft een negatief teken omdat deze wordt uitgedrukt in energiegebruik per functie-eenheid, hetgeen is afgenomen over de zichtperiode.

³³ Dit is de prijselasticiteit van het functiegebruik voor de kostprijs van energiefuncties.

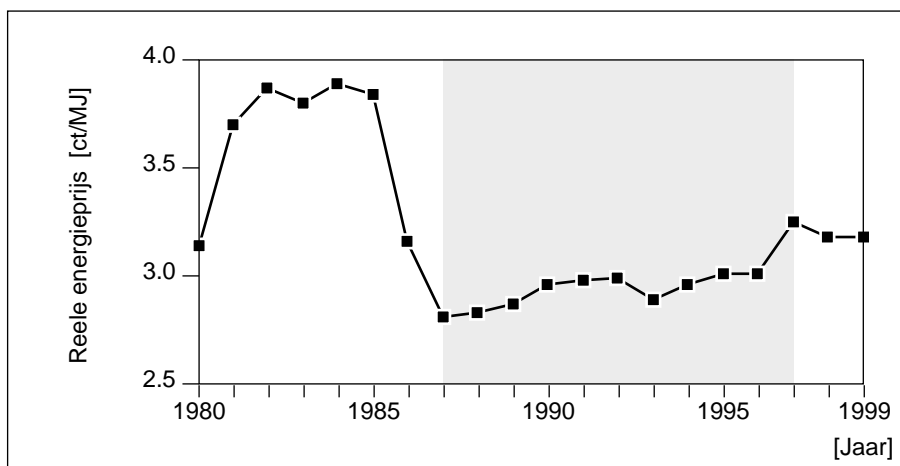
- *Indirecte effecten van de efficiencyverbetering*

De efficiencyverbetering bedraagt in de periode 1982-1997 circa $-1,8\%$ per jaar, zoals bij de bespreking van het efficiencyeffect is aangegeven. Naast de directe invloed op het energiegebruik (een evenredige afname) heeft efficiencyverbetering een effect op de kostprijs van energiefuncties doordat de variabele kosten afnemen, en de vaste kosten (iets) toenemen. In de periode 1982-1997 hebben deze beide effecten volgens berekening per saldo geleid tot een toename van het energiegebruik met circa $0,3\%$ per jaar. Met andere woorden: circa 15% van de gerealiseerde efficiencyverbetering is tenietgedaan door dit terugkoppelingseffect. Zie de vierde term van formule (3) waar de resultante van het directe en het indirecte effect wordt weergegeven.

- *Indirecte effecten van de energieprijzen*

In Figuur 10 is de ontwikkeling van de gemiddelde reële energieprijzen voor eindgebruikers grafisch getoond.

Figuur 10 Ontwikkeling van de gemiddelde reële energieprijzen voor eindgebruikers in de periode 1982-1997, bron: EnergieNed, CBS



Tussen 1982 en 1985 heeft de gemiddelde reële fossiele energieprijzen licht gefluctueerd, tussen 1985 en 1987 is deze sterk gedaald, en daarna redelijk constant gebleven³⁴. Over de gehele periode 1982-1997 is de prijs gemiddeld met $-1,1\%$ per jaar gedaald.

De prijs van duurzame energie is hierin niet meegenomen. Op basis van de veronderstelling dat deze vorm van energie 2,5 keer duurder is dan fossiel, heeft dit een prijsverhogend effect van $0,1\%$ -punt.

Overzicht van de effecten op de vraag naar energiedragers

In Tabel 2 staan de bijdragen van de hierboven beschreven mechanismen aan de groei van het energiegebruik in de periode 1982-1997 samengevat.

³⁴ De gemiddelde reële energieprijzen voor eindverbruikers is gedaald van 3,9 cent/MJ in 1982 tot 3,2 cent/MJ in 1997. Dit is berekend op basis van gegevens van EnergieNed en het CBS.

Tabel 2 Bijdrage van het inkomens-, efficiency- en prijseffect aan de groei van het energiegebruik in de periode 1982-1997

| Afzonderlijke effecten | Bijdrage aan de groei van het energiegebruik in de periode 1982-1997 (%-punt) |
|---|---|
| <i>Groei van het energiegebruik</i> | <i>1,5% p.j.</i> |
| Effect van bevolkingsgroei | 0,5 |
| Directe inkomenseffect (inkomenselasticiteit 1,1) | 2,4 |
| Directe efficiencyeffect | -1,8 |
| Prijseffect (prijselasticiteit -0,4) | 0,5 |
| Waarvan: | |
| - effect van de vaste kosten van energiefuncties | 0,1 |
| - effecten van efficiencyverbetering | 0,3 |
| - effecten van de energieprijis | 0,1 |
| Effect van inzet duurzame energie | -0,1 |

Op basis van bovenstaande resultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- 1 De belangrijkste aanjager van de trendmatige groei van het energiegebruik is de inkomensgroei: deze genereert een stijging van het energiegebruik met gemiddeld 2,4% per jaar.
- 2 Het prijseffect zorgt voor een extra groei van circa 0,5%-punt, hetgeen betekent dat de groei bijna 50% hoger uitkomt dan men op grond van de effecten van bevolkingsgroei, het inkomen en efficiencyverbetering zou verwachten³⁵. De conclusie is dat het prijseffect een substantieel deel van de groei van het energiegebruik verklaart.
- 3 Het reboundeffect van efficiencyverbetering bedraagt 0,3%-punt van het prijseffect van 0,5%. Circa de helft van het prijseffect kan dus worden toegeschreven aan de terugkoppeling van efficiency. Circa 14% van de efficiencyverbetering lekt weg: efficiencyverbetering leidde tot -1,8% daling van het energiegebruik, en tot een toename van 0,3%. Netto resteert een efficiencyeffect van circa -1,5% per jaar.

³⁵ Berekening: indirecte effecten dragen voor 0,5%-punt bij aan de groei; dit is 45% van de verwachte groei op basis van de bevolkingsgroei, het inkomens- en efficiencyeffect (1,1).

5 Empirie: elektrische functies van huishoudens

5.1 Inleiding

In de vorige hoofdstukken is met behulp van een modellering op macro-niveau inzicht gegeven in de mechanismen die de groei van het energiegebruik bepalen. De essentie van de gepresenteerde analyse is, dat de groei van het energiegebruik voor een substantieel gedeelte verklaard kan worden door het prijseffect: een daling van de reële kostprijs van energiefuncties leidt tot een toename in het gebruik ervan, en daarmee tot een toename van het energiegebruik. Van dit prijseffect is een substantieel gedeelte een gevolg van een negatieve terugkoppeling van efficiencyverbetering. Naast het prijseffect hebben het inkomen en de efficiency invloed op het energiegebruik³⁶. Deze effecten maken deel uit van de gebruikelijke analyses en worden in dit onderzoek eveneens meegenomen.

In dit hoofdstuk wordt het gedachtegoed van de mechanismen op macro-niveau toegepast op het niveau van elektrische functies in huishoudens. Hierbij gaat het niet om de validering van het model; de uitwerking dient als een illustratie. Met behulp van een kwantificering en inschatting van de mechanismen die de groei van het huishoudelijk elektriciteitsverbruik bepalen, wordt geïllustreerd en geconcretiseerd in welke mate het prijseffect, naast het effect van het inkomen en de efficiency, de groei van het elektriciteitsverbruik bepaalt.

Er is gekozen voor elektrische functies in huishoudens omdat het elektriciteitsverbruik van huishoudens sterk toeneemt. In de periode 1987-1997 bedroeg de gemiddelde jaarlijkse groei 3,5 tot 7,2% per jaar (electriciteitsverbruik per persoon)³⁷. Deze groei is hoger dan de gemiddelde jaarlijkse toename van het besteedbaar inkomen van huishoudens, die in dezelfde periode 1,9% per jaar bedroeg (reëel besteedbaar inkomen per persoon). Deze groei van het elektriciteitsverbruik is, in het licht van CO₂-reductie doelstellingen, een zorg voor de overheid. Inzicht in de mechanismen die tot deze groei leiden, kan behulpzaam zijn bij de vormgeving van het beleid voor deze doelgroep.

Elektrische functies in huishoudens is een verzamelbegrip voor zeer diverse functies. Een indicatie voor de diversiteit is te ontleen aan het sinds 1986 jaarlijks uitgebrachte Basisonderzoek Elektriciteitsverbruik Kleinverbruikers (BEK) van EnergieNed waarin circa 150 elektrische apparaten genoemd staan. De prestatie van deze apparaten is geabstraheerd tot tien functies: verlichting, audio/video/communicatie, hobby, persoonlijke verzorging, binnenhuisklimaat, reiniging, verwarming en warm water, koken/keukenfuncties en koelen³⁸. In het kader van dit onderzoek zijn drie functies onderzocht, die tezamen verantwoordelijk zijn voor circa 50% van het elektriciteitsverbruik in 1997: koelen, reinigen en verlichting. Deze zijn vervolgens verder gespecificeerd in tien subfuncties, tezamen verantwoordelijk voor nagenoeg 100% van het elektriciteitsverbruik van reinigen, koelen en verlichting.

³⁶ Efficiency wordt in dit onderzoek opgevat als het energiegebruik per eenheid energiefunctie.

³⁷ Op basis van gegevens over het functiegebruik en de efficiency. BEK-gegevens geven andere uitkomsten. Zie paragraaf 5.2.1 en bijlage C.

³⁸ BEK 1997.

In paragraaf 5.1 presenteren we de resultaten van de analyse van deze subfuncties. In de daarop volgende paragraaf 5.2 gaan we in op de relatie tussen het functiegebruik en de kostprijs: we beargumenteren in kwalitatieve zin of er een prijseffect optreedt. We gaan specifiek in op de relatie tussen de vaste kosten en de penetratie (paragraaf 5.3.1) en op de relatie tussen de variabele kosten en het functiegebruik (paragraaf 5.3.2). In paragraaf 5.4 komen de prijselasticiteiten aan bod, waarmee we een kwantificering geven van het prijseffect (paragraaf 5.5). Vervolgens bespreken we in paragraaf 5.6 in hoeverre we kunnen constateren dat bij de onderzochte functies een reboundeffect is opgetreden. In paragraaf 5.7 geven we een kwantitatief overzicht van de mechanismen die de groei van het elektriciteitsverbruik van huishoudens bepalen. Tenslotte staan in paragraaf 5.8 de conclusies ten aanzien van de onderzoeksvragen verwoord.

In bijlage C vindt u een beschrijving van de methodiek, en een uitgebreide presentatie en onderbouwing van de resultaten van de analyse.

5.2 Resultaten van de analyse (periode 1982-1997)

In deze paragraaf presenteren we de resultaten van de tien huishoudelijke functies: de ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik, het functiegebruik, de kostprijs en de efficiency van de functies in de periode 1987-1997. Details per functie zijn opgenomen in bijlage C.

Hieronder volgt een overzichtstabel van de resultaten. De functies zijn hierin ingedeeld in 'nieuwe' en 'oude' functies:

- 'nieuwe' functies zijn de functies waarvan het gebruik in opmars is in de huishoudens: nog niet alle huishoudens hebben deze functie in huis, maar steeds meer huishoudens gaan over tot de eerste aanschaf;
- 'oude' functies zijn de functies die in bijna alle huishoudens hun intrede hebben gedaan.

Deze indeling blijkt nuttige inzichten op te leveren. De oorspronkelijke indeling (reinigen, koelen en verlichting) wordt in de hierna volgende paragrafen los gelaten. In de bijlage is deze wel gehanteerd.

De overzichtstabel wordt vervolgens toegelicht: in paragraaf 5.2.1 wordt ingegaan op de ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik; in de daarop volgende paragrafen 5.2.2, 5.2.3 staan de belangrijkste bevindingen met betrekking tot respectievelijk het functiegebruik en de kostprijs beschreven.

Tabel 3 Overzicht van de ontwikkelingen van het elektriciteitsverbruik, het functiegebruik, de kostprijs en de efficiency van de elektrische huishoudelijke functies in de periode 1987-1997

| | Gemiddelde ontwikkeling in de periode 1987-1997 (% per jaar) | | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------------|---|---|--|
| | Elektriciteitsverbruik p.p. | Functiegebruik p.p. | Reële kostprijs per eenheid energie-functie | Aandeel elektriciteitskosten in kostprijs | Efficiency per eenheid energie-functie |
| 'Nieuwe' functies | | | | | |
| Drogen van wasgoed | 10,8 tot 15,9 | 11,3 tot 14,5 | -1,3 tot -3,3 | 70% | -0,6 tot +1,5 |
| Reinigen van serviesgoed | 16,0 tot 21,6 | 18,1 tot 23,3 | -3,4 tot -5,0 | 35% | -2,0 tot -1,6 |
| Vriezen | 0,2 tot 2,2 | 3,4 | -0,9 tot -2,0 | 50% | -3,1 tot -1,1 |
| Licht van spaarlampen | 9,9 tot 10,2 | +11,4 | -5,5 | 40% | -1,6 |
| Licht van halogeenlampen | 30,1 tot 32,1 | +29,4 | -9,8 | 50% | -0,5 |
| <i>Gemiddelde 'nieuwe' functies</i> | <i>13,7 tot 17,5</i> | <i>14,7 tot 17,4 (gewogen)</i> | <i>-2,2 tot -3,9 (gewogen)</i> | | <i>-1,5 tot 0,1 (gewogen)</i> |
| 'Oude' functies | | | | | |
| Wassen van wasgoed | -2,7 tot 1,5 | 1,9 tot 2,2 | -0,8 tot -1,8 | 17% | -4,0 tot -1,5 |
| Stofzuigen | -0,4 tot 0,0 | -0,4 | -0,5 | 35% | 0 |
| Koelen | -0,6 tot 0,9 | 0,7 | 0 tot -1,0 | 45% | -1,3 tot 0,9 |
| Licht van gloeilampen | -0,8 tot 1,5 | 1,3 tot 3,6 | -2,4 | 70% | -2,2 |
| Licht van TL-lampen | -3,1 tot -2,8 | -1,2 tot -1,8 | -1,5 | 85% | -1,3 |
| <i>Gemiddelde 'oude' functies</i> | <i>-1,1 tot 2,5</i> | <i>1,1 tot 1,9 (gewogen)</i> | <i>-0,8 tot -1,7 (gewogen)</i> | | <i>-2,2 tot 0,6 (gewogen)</i> |
| Totaal: | | | | | |
| Gemiddelde totaal | 3,5 tot 7,2 | 5,4 tot 7,5 (gewogen) | -1,3 tot -2,0 (gewogen) | | -1,9 tot -0,3 (gewogen) |

De tabel kunt u als volgt lezen: de ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik wordt verklaard door de groei van het functiegebruik en de verandering in de energie-efficiency. De waarden voor het elektriciteitsverbruik worden dan ook verkregen door optelling van die twee³⁹. Na in de volgende paragraaf kort in te zijn gegaan op het elektriciteitsverbruik, bespreken we in de daarna volgende paragrafen de resultaten voor het functiegebruik en de kostprijs.

³⁹ Hierbij is het elektriciteitsverbruik de resultante van de gevonden waarden voor het functiegebruik en de efficiency. We hebben voor het elektriciteitsverbruik niet de gegevens van EnergieNed (BEK) als basis genomen omdat hierin ons inziens te voorzichtige aannamen zijn gedaan (zie paragraaf 6.4.2 en bijlage C bij de bespreking van het elektriciteitsverbruik van de diverse functies).

5.2.1 Elektriciteitsverbruik

Het elektriciteitsverbruik dat *per persoon* gemiddeld aan de tien onderzochte functies wordt besteed, is gemiddeld met 3,5 tot 7,2% per jaar toegenomen. Er zijn grote verschillen tussen de functies: van een aantal functies neemt het elektriciteitsverbruik meer dan 10% per jaar toe, terwijl de groei bij andere functies veel gematigder is (enkele procenten per jaar) of een lichte afname te zien geeft.

De functies waarvan het elektriciteitsverbruik snel groeit, zijn de relatief 'nieuwe' functies. Uit de categorie reinigen zijn dit het drogen van wasgoed in een wasdroger en het reinigen van serviesgoed in een vaatwasmachine. Verlichting van halogeen- en spaarlampen zijn de snelgroeiers bij verlichting. Tenslotte reken we vriezen tot de 'nieuwe' functies.

Het elektriciteitsverbruik per persoon is voor deze 'nieuwe' functies in de periode 1987-1997 met gemiddeld 13,7 tot 17,5% per jaar toegenomen.

De functies waarvan het elektriciteitsverbruik langzaam groeit of licht afneemt, zijn relatief 'oude' functies: het wassen van wasgoed in de wasmachine, stofzuigen, koelen, licht van gloeilampen en dat van TL-lampen.

Het elektriciteitsverbruik per persoon is voor deze 'oude' functies in de periode 1987-1997 met gemiddeld -1,1 tot +2,5% per jaar afgenomen.

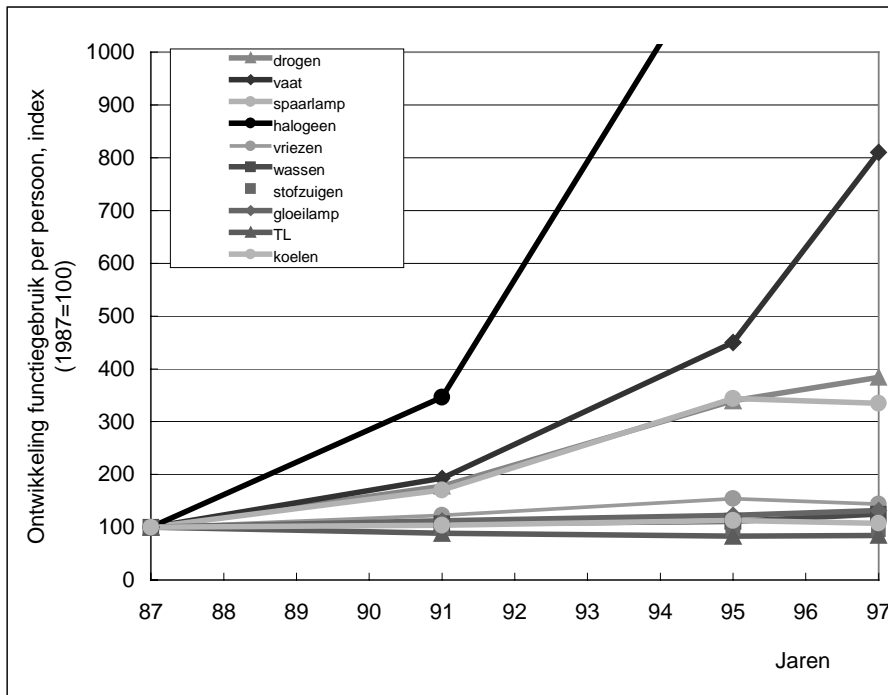
5.2.2 Functiegebruik

In Tabel 3 staan de resultaten ten aanzien van het gebruik van de tien onderzochte elektrische functies aangegeven. Het betreft het gemiddelde functiegebruik per persoon.

In Tabel 3 staan, met uitzondering van de koelfuncties, marges aangegeven. Deze zijn het gevolg van het gebruik van verschillende bronnen. Op basis van hoogste en laagste waarden die in diverse onderzoeken gevonden zijn, is een inschatting gemaakt van een hoge en lage waarde voor de ontwikkeling van het functiegebruik. Zie voor een onderbouwing bijlage C.

De ontwikkelingen in het functiegebruik zijn afgebeeld in Figuur 11. Het betreft gemiddelde waarden.

Figuur 11 Ontwikkeling van het functiegebruik van elektrische functies van huishoudens in functie-eenheden per persoon, over de periode 1987-1997, in indexcijfers (1987=100)



De grafiek laat zien dat het gemiddeld functiegebruik per persoon van vrijwel alle functies over de zichtperiode is toegenomen. Alleen van de volgende functies is het gebruik afgenomen of nagenoeg gelijk gebleven:

- *Stofzuigen*. Dit kan verklaard worden doordat er nagenoeg geen mogelijkheden meer zijn voor een toename van het functiegebruik: stofzuigers zijn al enkele decennia in vrijwel alle huishoudens aanwezig (penetratiegraad in 1975 en 1997 beide circa 99%)⁴⁰. Verder ontstaat er geen meerwaarde door langer te stofzuigen. De gemiddelde stofzuigtijd per week is zelfs licht dalend, wat verklaard kan worden door een toename van plavuizen en parket in plaats van vloerbedekking, waardoor de tijd die nodig is om een bepaald oppervlak te stofzuigen, licht afneemt⁴¹. We verwachten daarom voor stofzuigen geen relatie te vinden tussen het functiegebruik en de kostprijs.
- *Licht van tl-lampen*. Hoewel het aantal tl-lampen per huishouden nog wel licht toeneemt, ligt de oorzaak voor de afname van het functiegebruik (lumenuur per persoon) voornamelijk in een afname van het aantal branduren per tl-lamp (-4,7% per jaar). Hier moet echter een kanttekening geplaatst worden dat deze trend slechts over de jaren 1995-1997 is bepaald, en door gebrek aan gegevens niet kon worden vastgesteld voor de overige jaren. Er is aangenomen dat deze ontwikkeling representatief is voor de gehele zichtperiode. Op basis van deze aanname verwachten we ook voor TL-licht geen relatie tussen het functiegebruik en de kostprijs.

⁴⁰ BEK '97 en Albers, R., e.a., 1988.

⁴¹ Boonekamp en Jeeninga, 1999.

Verder blijkt uit Figuur 11 dat het functiegebruik van 'nieuwe' functies substantieel sneller is toegenomen dan dat van 'oude' functies: de groei van de eerste bedraagt gemiddeld 14,7 tot 17,4% per jaar, en die van de tweede categorie 1,1 tot 1,9% per jaar⁴². De extreem hoge groei van halogeenvverlichting is een bijzonder geval: in 1987 gebruikten huishoudens nagenoeg geen halogeenvverlichting. In de zichtperiode is dit zeer snel toegenomen, maar in absolute zin betreft het slechts een kleine hoeveelheid: in 1997 zijn er gemiddeld circa drie lampen van dit type per huishouden aanwezig⁴³.

De ontwikkeling van het functiegebruik wordt bepaald door de ontwikkeling van de volgende factoren:

- penetratiegraad van de apparaten in de Nederlandse huishoudens;
- diverse functiespecifieke factoren;
- gezinsverdunding.

Deze factoren worden hieronder toegelicht.

Penetratie

De ontwikkeling van het aantal huishoudens dat gemiddeld de betreffende elektrische apparaten bezit is weergegeven in Tabel 4. De gegevens zijn ontleend aan EnergieNed (BEK 1997).

Tabel 4 Penetratieontwikkeling van de onderzochte elektrische apparaten in de periode 1987-1997, in percentage van de Nederlandse huishoudens dat een bepaald apparaat bezit. Voor verlichting is het aantal lampen weergegeven dat een huishouden gemiddeld in bezit heeft

| Elektrische functie | Penetratiegraad in 1987 | Penetratiegraad in 1997 |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Drogen van wasgoed | 18% | 54% |
| Reinigen van serviesgoed | 8% | 29% |
| Vriezen | 36% | 55% |
| Licht van spaarlampen | 1 lamp | 3 lampen |
| Licht van halogeenvlampen | 0 lampen | 3 lampen |
| Wassen van wasgoed | 94% | 98% |
| Stofzuigen | 99% | 100% |
| Koelen: | | |
| 2-deurs koelkast | 38% | 48% |
| koelkast met vriesvak | 46% | 30% |
| koelkast zonder vriesvak | 17% | 34% |
| Licht van gloeilampen | 25 lampen | 26 lampen |
| Licht van TL-lampen | 3 lampen | 4 lampen |

Uit de tabel blijkt dat de penetratie van wasmachines en stofzuigers nauwelijks is toegenomen: deze zijn in vrijwel alle huishoudens aanwezig en hebben een penetratiegraad van bijna 100%.

Verder blijkt dat het bezit van wasdrogers, koelkasten zonder vriesvak en vaatwassers sterk is toegenomen in de zichtperiode.

Van diepvriesapparatuur en 2-deurs koelkasten is de penetratiegraad licht gestegen. De koelkast zonder vriesvak is op zijn retour: de penetratiegraad neemt af.

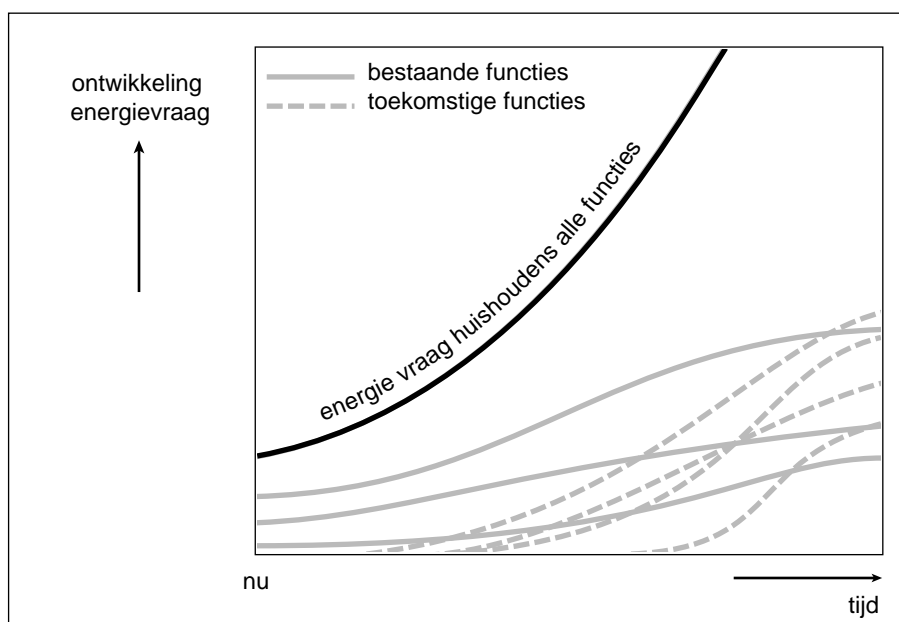
⁴² Dit is een gewogen gemiddelde waarbij het elektriciteitsverbruik in 1997 als weegfactor is gebruikt.

⁴³ Wanneer halogeenvverlichting buiten beschouwing wordt gelaten, bedraagt de gemiddelde groei van het functiegebruik van 'nieuwe' functies 10,3 tot 13,2% per jaar.

Het overgrote deel van de verlichting wordt verzorgd door gloeilampen, waarvan het gemiddeld aantal per huishouden licht stijgt. Het bezit van de andere typen neemt toe, maar blijft in absolute zin een gering aandeel van het totaal. Ook hier stijgt het bezit van de nieuwe lamptypen (spaar- en halogeenlampen) het snelst.

Het feit dat de penetratie van 'nieuwe' functies sneller toeneemt dan die van 'oude', is conform wat we verwachten op grond van de theorie: de implementatie van nieuwe technieken vertoont een S-vormige curve⁴⁴. Het feit dat er steeds meer 'nieuwe' elektrische functies op de markt komen, draagt ertoe bij dat cumulatief gezien het functiegebruik (en dus ook het elektriciteitsverbruik) in absolute zin toeneemt. In Figuur 12 is dit illustratief weergegeven.

Figuur 12 Illustratie van doorgaande implementatie van 'nieuwe' elektrische huishoudelijke functies en het effect op het elektriciteitsverbruik



Het gemiddeld functiegebruik per huishouden neemt evenredig toe met de penetratiegraad. Gemiddeld verklaart de toenemende penetratie van de onderzochte apparaten ongeveer de helft van de gemiddelde toename van het functiegebruik⁴⁵. Dit is zowel voor 'nieuwe' als voor 'oude' functies het geval.

Diverse functiespecifieke factoren

Naast de penetratie van de apparaten in de huishoudens hebben functie-specifieke factoren invloed op het functiegebruik. Het betreft de volgende factoren:

⁴⁴ De productlevenscyclus kenmerkt zich door de volgende fasen: introductie groei, rijpheid en verzadiging en tenslotte neergang. Zie bijvoorbeeld Verhage, 1990.

⁴⁵ Dit is berekend op analoge wijze als in de notitie van het CPB (Brink 1997): het gemiddeld elektriciteitsverbruik per huishouden per apparaat per jaar (verbruik per jaar vermenigvuldigd met de penetratie) is voor de jaren 1987 en 1997 vergeleken. De gegevens zijn ontleend aan EnergieNed, BEK 1987 en 1997.

Tabel 5 Functiespecifieke factoren die het functiegebruik bepalen

| Hoofdfunctie | Functie | Factoren |
|----------------|----------------------------|---|
| Koelen/vriezen | | <ul style="list-style-type: none"> Gemiddelde inhoud van koel- en vriesapparatuur. |
| Reinigen | Wassen, drogen, vaatwassen | <ul style="list-style-type: none"> Was- en droogfrequentie: het gemiddeld aantal programma's per apparaat per jaar; Beladingsgraad: het gemiddeld aantal kilogrammen wasgoed respectievelijk aantal couverts per was-/droogbeurt. |
| | Stofzuigen | <ul style="list-style-type: none"> Gemiddeld vermogen van stofzuigers; Stofzuigtijd per persoon per jaar. |
| Verlichting | | <ul style="list-style-type: none"> Gemiddeld vermogen per lamptype; Lumen/Watt-verhouding: het aantal geleverde lumen per Watt; Gemiddeld aantal branduren per lamp. |

Uit de resultaten van het onderzoek blijkt dat het functiegebruik als gevolg van deze factoren gemiddeld met 0,7 tot 1,8% per jaar toeneemt. Hieronder volgt een korte toelichting per (cluster van) functie(s)⁴⁶.

Koelen/vriezen:

Door een toename van de dikte van isolatiewanden, neemt de inhoud van een koelapparaat gemiddeld licht af (–0,8 tot –2,3% per jaar voor de verschillende typen)⁴⁷. Het aantal liters koelruimte dat gemiddeld per persoon per jaar gebruikt wordt, neemt hierdoor eveneens licht af.

Wassen en drogen van wasgoed:

Het aantal kilogrammen wasgoed dat gemiddeld per persoon per jaar in de wasmachine gewassen, respectievelijk in de wasdroger wordt gedroogd, neemt toe (als gevolg van deze factoren) als resultante van twee tegengestelde ontwikkelingen:

- een toename van de was-/droogfrequentie (1,1 tot 1,9% per jaar voor wassen⁴⁸; 0,2 tot 3,0% per jaar voor drogen⁴⁹);
- een afname van de beladingsgraad (0 tot –1,2% per jaar voor wassen⁵⁰; 0% voor drogen⁵¹).

Vaatwassen:

Het aantal couverts dat gemiddeld per persoon per jaar in de vaatwasmachine wordt gereinigd, neemt (naast de toenemende penetratie) in hoofdzaak toe door een toename van de vaatwasfrequentie (4,1 tot 8,3% per

⁴⁶ Voor details: zie bijlage C.

⁴⁷ Op basis van gegevens uit Consumentengidsen, Energiewijzers en Kemna, 1989.

⁴⁸ Op basis van BEK (diverse jaren); Van Dijk en Siderius, 1995; Van Rossum, 1991; VEWIN/NIPO 1999.

⁴⁹ Op basis van BEK (diverse jaren) en Siderius en Van Dijk, 1991.

⁵⁰ Op basis van BEK, 1997; Uitdenbogerd, e.a., 1998.

⁵¹ Er zijn geen bronnen gevonden die melding maken van een ontwikkeling in de beladingsgraad.

jaar⁵²). De beladingsgraad vertoont slechts een lichte verandering (0 tot 0,4%) die de toename nog iets versterkt⁵³.

Verlichting:

Het aantal lumenuur aan verlichting dat gemiddeld per persoon per jaar wordt gebruikt neemt toe (als gevolg van deze factoren) als resultante van tegengestelde ontwikkelingen:

- een toename van de lumen/Watt-verhouding (0,4 tot 2,0% per jaar voor de verschillende lamptypen⁵⁴);
- een afname van het gemiddeld aantal branduren per lamp (-0,9% per jaar voor gloei- spaar- en halogeenlampen; -4,7% per jaar voor tl-lampen⁵⁵);
- een ontwikkeling van het gemiddeld vermogen per lamp (variërend van -0,9% per jaar tot +1,3% per jaar voor de verschillende lamptypen⁵⁶).

Gezinsverdunning

Het functiegebruik per persoon neemt toe bij een afname van het gemiddeld aantal personen per huishouden. In de berekeningen is verondersteld dat het functiegebruik per huishouden niet afhankelijk is van de gezinsgrootte, maar dat dit 'verdeeld' wordt over een in de loop der jaren kleiner wordend aantal personen.

Uitgaande van deze veronderstelling draagt gezinsverdunning gemiddeld 0,8% per jaar bij aan de toename van het functiegebruik⁵⁷.

Dit is waarschijnlijk een overschatting. De veronderstelling houdt bijvoorbeeld in dat bij een gezinssplitsing de twee nieuwe huishoudens dezelfde omvang aan elektrische functies nuttigen als het oorspronkelijke huishouden. Het is echter niet waarschijnlijk dat alle functies worden gedupliceerd⁵⁸.

Conclusie

De conclusies ten aanzien van de ontwikkeling van het functiegebruik zijn:

- het gemiddeld functiegebruik van elektrische huishoudelijke functies (per persoon per jaar) is in de zichtperiode met gemiddeld 5,4 tot 7,5% per jaar toegenomen;
- voor 'nieuwe' functies is de toename sterk (circa 14,7 tot 17,4% per jaar); voor 'oude' functies is de toename gering (circa 1,1 tot 1,9% per jaar);
- de toegenomen penetratie van apparaten is de belangrijkste oorzaak van de functiegroei: deze verklaart ongeveer de helft van de groei;
- de specifieke functiegerelateerde factoren verklaren gemiddeld 0,7 tot 1,8%-punt bij aan de gemiddelde groei van het functiegebruik;
- de gezinsverdunning verklaart gemiddeld 0,8%-punt van de groei van het functiegebruik, onder de aanname dat de gezinsgrootte geen invloed heeft op het functiegebruik per huishouden.

⁵² Op basis van Van Dijk en Siderius, 1991; Uitdenbogerd e.a., 1998; BEK (1995 en 1996) en VEWIN/NIPO 1999.

⁵³ Op basis van Van Dijk en Siderius, 1991 en VEWIN/NIPO 1999.

⁵⁴ Philips.

⁵⁵ Op basis van gegevens over de periode 1995-1997 (BEK).

⁵⁶ Op basis van BEK 1988, 1995 en 1997.

⁵⁷ Op basis van CBS.

⁵⁸ In paragraaf 5.4 wordt bij de inschatting van de omvang van het prijseffect verondersteld dat slechts een gedeelte van dit effect van gezinsverdunning daadwerkelijk zal optreden.

5.2.3 Reële kostprijs per eenheid energiefunctie

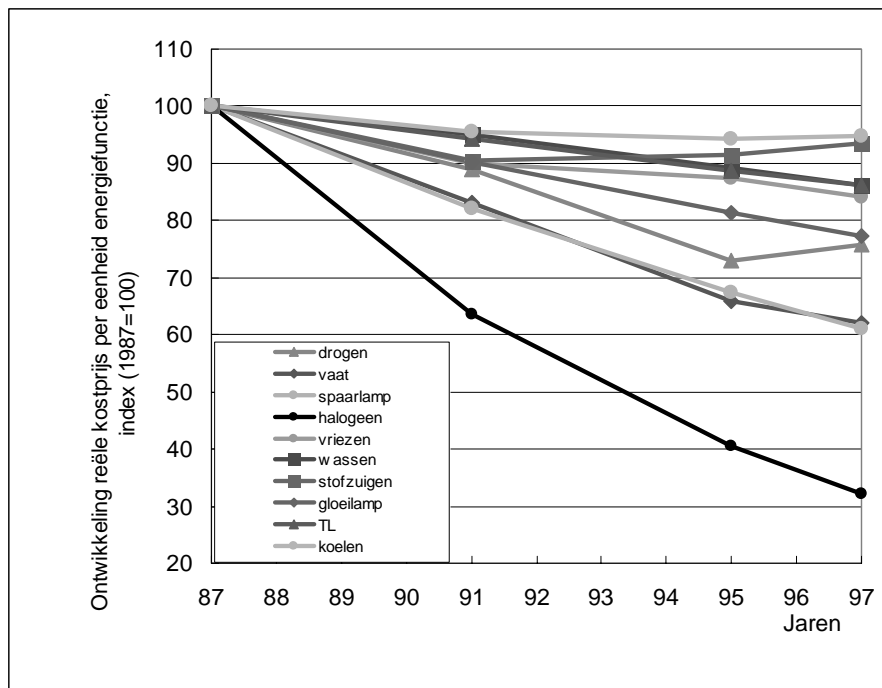
In paragraaf 5.2.1 is getoond dat het elektriciteitsverbruik van elektrische huishoudelijke functies in de periode 1987-1997 is toegenomen met gemiddeld 3,5 tot 7,2% per jaar. Voor 'nieuwe' functies is deze groei veel sterker dan voor 'oude' functies. De hypothese in dit onderzoek is, dat de groei van het elektriciteitsverbruik wordt veroorzaakt door een toename van het functiegebruik, die mede verklaard kan worden door een dalende kostprijs van de functies. In de voorgaande paragraaf is beschreven dat het functiegebruik van 'nieuwe' functies sterk is toegenomen, en dat van 'oude' functies licht. Enkele 'oude' functies zijn in gebruik afgenomen (stofzuigen en tl-verlichting). In deze paragraaf worden de bevindingen ten aanzien van de kostprijs gepresenteerd.

In Tabel 3 staan de resultaten ten aanzien van de reële kostprijs van elektrische functies weergegeven. Het betreft de reële kostprijs, dat wil zeggen gecorrigeerd voor inflatie. Verder is het van belang dat het de kostprijs per functie-eenheid is, dus per liter koelruimte, per lumenuur, etc.

Met uitzondering van verlichting is een marge aangegeven. De marges zijn het gevolg van verschillende brongegevens voor de ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik per apparaat of programma, en voor het aantal functie-eenheden per apparaat of programma. Een onderbouwing van de waarden staat in bijlage C.

De ontwikkelingen in de kostprijs van de elektrische functies over de zichtperiode van het onderzoek zijn afgebeeld in Figuur 13. Dit zijn de gemiddelde waarden.

Figuur 13 Ontwikkeling van de reële kostprijs per functie-eenheid van elektrische functies van huishoudens, over de periode 1987-1997, in indexcijfers (1987=100)



De grafiek laat zien dat de gemiddelde reële kostprijs per functie-eenheid van alle functies over de zichtperiode is afgenomen.

Verder blijkt tevens uit de figuur dat de prijs van 'nieuwe' functies een sterkere afname vertoont dan die van 'oude' functies. Voor 'nieuwe' functies is het gewogen gemiddelde een afname met $-2,2$ tot $-3,9\%$ per jaar, terwijl dat voor 'oude' functies $-0,8$ tot $-1,7\%$ per jaar is⁵⁹.

Ter illustratie wordt in Tabel 6 een overzicht gegeven van de kostprijzen in 1997 (in guldens van 1997).

Tabel 6 Overzicht van de reële kostprijzen van de elektrische huishoudelijke functies in 1997 (prijzen van 1997) en het percentage vaste en variabele kosten hierin

| Functie | Eenheid | Reële kostprijs in 1997 (guldens van 1997) | Aandeel van de vaste kosten in de totale kostprijs (%) | Aandeel van de variabele kosten in de totale kostprijs (%) |
|------------------------------|--|--|--|--|
| 'Nieuwe' functies | | | | |
| Drogen van wasgoed | Kilogram wasgoed | 0,50 | 30 | 70 |
| Reinigen van serviesgoed | Couvert | 0,12 | 40 | 60 ⁶⁰ |
| Vriezen (in vrieskast/-kist) | Liter koelruimte per jaar | 0,90 | 50 | 50 |
| Licht van spaarlampen | 1.000 lumen ⁶¹ , 100 branduren | 1,14 | 60 | 40 |
| Licht van halogeenlampen | 1.000 lumen, 100 branduren | 2,43 | 50 | 50 |
| 'Oude' functies | | | | |
| Wassen van wasgoed | Kilogram wasgoed | 0,58 | 35 | 65 ⁶² |
| Stofzuigen | Uur stofzuigen met vermogen van 1.150 Watt | 0,81 | 65 | 35 |
| Koelen | Liter koelruimte per jaar | 1,20 ⁶³ | 55 | 45 |
| Licht van gloeilampen | 1.000 lumen, 100 branduren | 2,58 | 30 | 70 |
| Licht van tl-lampen | 1.000 lumen, 100 branduren | 0,44 | 15 | 85 |

De ontwikkeling van de reële kostprijs wordt bepaald door de ontwikkeling van de reële vaste en variabele kosten per functie-eenheid. Deze worden hieronder toegelicht.

⁵⁹ De kostprijs is gewogen met de kosten die gemiddeld per persoon aan de functie zijn uitgegeven in 1997.

⁶⁰ 35% van de totale kostprijs zijn de elektriciteitskosten.

⁶¹ 1.000 lumen komt ongeveer overeen met de lichtsterkte van een gloeilamp van 75 Watt.

⁶² 17% van de totale kostprijs zijn de elektriciteitskosten.

⁶³ De kostprijs van de verschillende koelkasttypen varieert tussen 1,00 en 1,25 per liter koelruimte per jaar. De gemiddelde kostprijs in de tabel is een gewogen gemiddelde met de funktiekosten per persoon aan de betreffende functies in 1997 als weefactor.

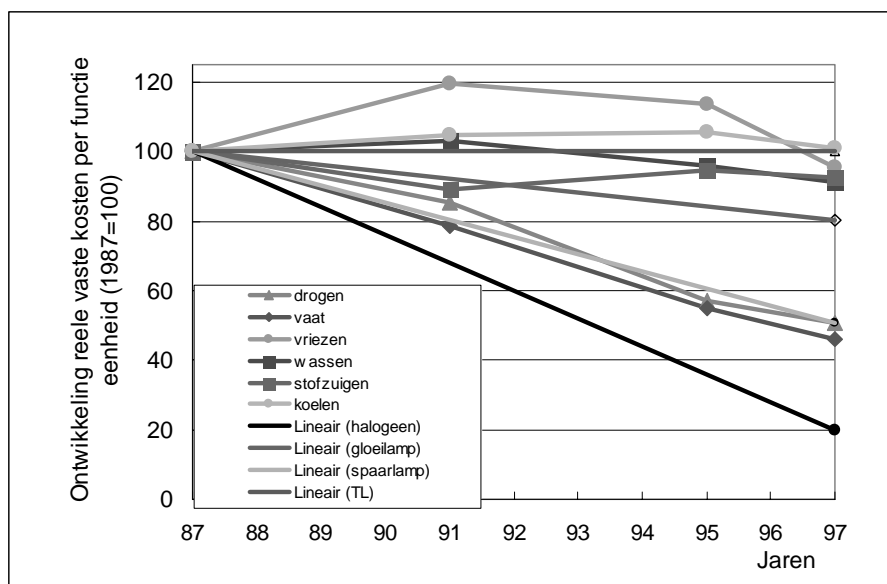
De verhouding tussen de vaste en variabele kosten bepaalt in hoeverre de ontwikkelingen in beide doorwerken in de totale kostprijs. In Tabel 6 staat deze verhouding per functie aangegeven. Alleen bij de verlichtingsfuncties blijkt er verschil te zijn tussen 'oude' en 'nieuwe' functies: de functies in de eerste categorie hebben een groter aandeel vaste kosten in de totale kostprijs dan de tweede. Bij de koel- en vriesfuncties is de verhouding ongeveer 50:50.

Reële vaste kosten per functie-eenheid

De reële vaste kosten per functie-eenheid zijn de kosten van de apparatuur, toegerekend aan een functie-eenheid⁶⁴, en gecorrigeerd voor inflatie.

In Figuur 14 is de ontwikkeling van de reële vaste kosten van de onderzochte functies getoond.

Figuur 14 Ontwikkeling van de reële vaste kosten per functie-eenheid van de onderzochte elektrische functies van huishoudens over de periode 1987-1997, in indexcijfers (1987=100)



Met uitzondering van vriezen zijn de reële vaste kosten van alle functies over de zichtperiode afgenomen. Er blijkt een significant verschil tussen 'nieuwe' en 'oude' functies: van de eerste zijn de vaste kosten gemiddeld 20 tot 80% gedaald over de zichtperiode, terwijl die van 'oude' functies gemiddeld 0 tot 20% zijn gedaald. De oorzaak ligt hoofdzakelijk in het feit dat de nominale kosten van de apparaten over de zichtperiode sterker zijn afgenomen dan die van de 'oude' functies.

Reële variabele kosten per functie-eenheid

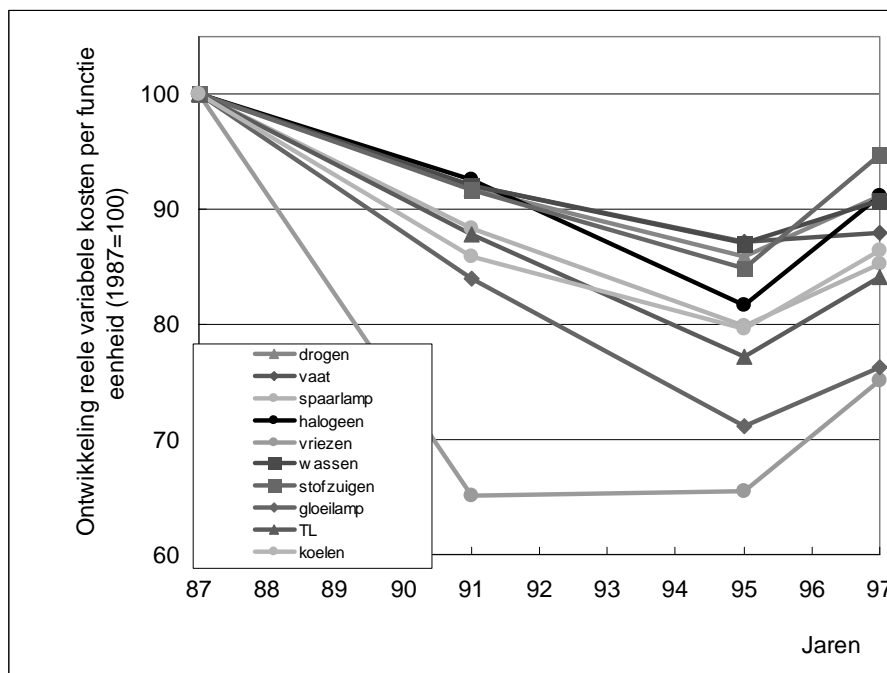
De reële variabele kosten per functie-eenheid zijn de reële elektriciteitskosten per functie-eenheid, die bij de functies wassen van wasgoed en reinigen van serviesgoed zijn vermeerderd met de reële kosten van water en wasmiddel. De variabele kosten worden bepaald door het elektriciteitsverbruik

⁶⁴ De kosten van apparaten zijn omgerekend naar gemiddelde kosten per jaar, waarbij uitgegaan is van de levensduur zoals die door Consumentengidsen of andere relevante bronnen wordt vermeld, en een afschrijving van 4% per jaar.

per functie-eenheid (efficiency), en de reële elektriciteitsprijs voor kleinverbruikers.

De ontwikkeling van de reële variabele kosten van de elektrische functies over de zichtperiode van het onderzoek is weergegeven in Figuur 15.

Figuur 15 Ontwikkeling van de reële variabele kosten per functie-eenheid van de onderzochte elektrische functies van huishoudens over de periode 1987-1997, in indexcijfers (1987=100)



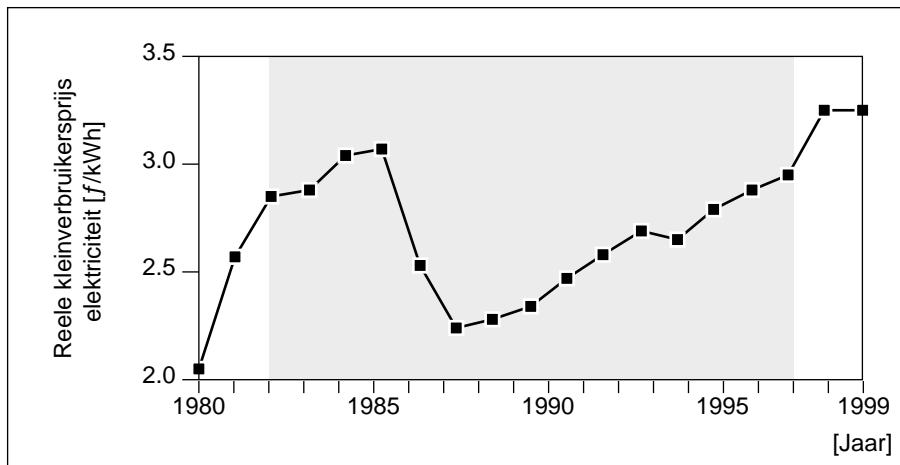
Uit de figuur blijkt dat de variabele kosten van de meeste functies een dalend verloop tonen in de periode 1987-1995, waarna ze toenemen tot het eind van de zichtperiode, 1997. De reden van de toename over de laatste jaren is dat de elektriciteitsprijs voor kleinverbruikers sinds 1995 is gestegen, met name als gevolg van de heffingen (REB).

De diepvrieskast/-kist heeft de laagste variabele kosten in 1995 omdat het elektriciteitsverbruik per apparaat in dat jaar het laagst was⁶⁵.

Om het effect van de elektriciteitsprijs te expliciteren, is in Figuur 16 ter illustratie de ontwikkeling hiervan over de periode 1980-1997 getoond.

⁶⁵ EnergieNed: BEK 1987, 1991, 1995, 1997.

Figuur 16 Ontwikkeling van de reële elektriciteitsprijs per kilowattuur voor kleinverbruikers over de periode 1980-1997, in centen van 1997. Bronnen: CBS; EnergieNed



Conclusie

In dit onderzoek is met betrekking tot de ontwikkeling van de kostprijs van de onderzochte elektrische functies het volgende gebleken:

- de reële kostprijs per functie-eenheid is in de zichtperiode met gemiddeld $-1,3$ tot $-2,0\%$ per jaar afgenomen;
- voor 'nieuwe' functies is de afname het sterkst (circa $-2,2$ tot $-3,9\%$ per jaar). Voor 'oude' functies is de afname kleiner (circa $-0,8$ tot $-1,7\%$ per jaar);
- de kostprijs bestaat uit vaste en variabele kosten. De verhouding tussen vaste en variabele kosten varieert van 15% vast (en 85% variabel) voor tl-verlichting tot 65% vast (en 35% variabel) voor stofzuigen. Voor koelen en vriezen is de verhouding ongeveer gelijk;
- de vaste kosten van 'nieuwe' functies zijn sterker afgenomen dan die van 'oude' functies (20 tot 80% over de zichtperiode, respectievelijk 0 tot 20%);
- de variabele kosten van vrijwel alle functies vertoont een daling tot 1995, waarna een stijging volgt. De reden van deze 'knik' is de toename van de reële elektriciteitsprijs voor kleinverbruikers na 1995 vanwege met name de heffingen (REB).

5.3 Relatie tussen functiegebruik en kostprijs

In de voorgaande paragrafen is de ontwikkeling getoond van het elektriciteitsgebruik, het functiegebruik, en de kostprijs van een twaalfstal elektrische huishoudelijke functies. Uit paragraaf 5.2.2 blijkt dat het functiegebruik van nagenoeg alle functies is toegenomen. In paragraaf 5.2.3 hebben we gezien dat de prijs per eenheid energiefunctie is gedaald. Deze paragraaf gaat nader in op de relatie tussen het functiegebruik en de kostprijs, en op de vraag of er een prijseffect werkzaam is. Met andere woorden: heeft de kostprijsdaling ertoe bijgedragen dat het functiegebruik is toegenomen?

In deze paragraaf richten we ons op een kwalitatieve analyse, terwijl we in paragraaf 5.4 een kwantitatieve uitwerking geven.

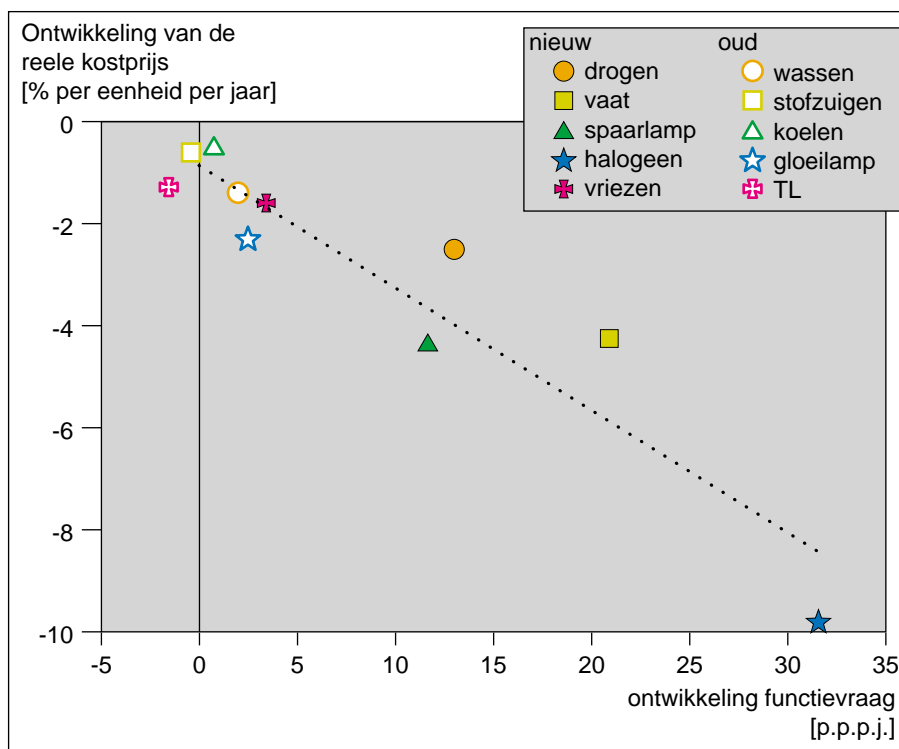
In de eerste plaats richten we ons op de totale kostprijs en het totale functiegebruik. Daarna maken we een onderscheid in soorten kosten: in paragraaf

5.3.1 onderzoeken we de relatie tussen de vaste kosten en de penetratie, en in paragraaf 5.3.2 de relatie tussen variabele kosten en het functiegebruik.

Totale kostprijs versus functiegebruik

In Figuur 17 is de relatie tussen het functiegebruik en de kostprijs getoond. Het betreft de gemiddelde waarden van de beide variabelen.

Figuur 17 De gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling van het functiegebruik over de periode 1987-1997 afgezet tegen die van de reële kostprijs over dezelfde periode, per elektrische functie in het huishouden (in gemiddelde mutatie per jaar)



Uit de figuur blijkt dat er bij vele functies sprake is van een stijging van het functiegebruik in combinatie met een daling van de gemiddelde reële kostprijs per functie-eenheid. Dit is de statistische relatie zoals we die zouden verwachten bij het optreden van een prijseffect: de prijsdaling stimuleert in dat geval het gebruik van functies. De trendlijn door de punten kent een lineair verband (met richtingscoëfficiënt $-0,2$) en met een hoge correlatie ($r^2=0,87$).

'Nieuwe' functies tonen een sterkere en consistentere relatie dan de 'oude' functies. Het functiegebruik van wasdrogen, vaatwassen en licht van spaarlampen neemt met circa 10 tot 20% per jaar toe, terwijl de reële kostprijs met $-2,5$ tot $-4,5\%$ per jaar afneemt. Halogeenverlichting vertoont een zeer sterke prijsdaling en een zeer sterke toename van het gebruik. Vriezen laat tenslotte een matige groei zien van het gebruik ($3,5\%$ per jaar) in combinatie met een lichte prijsdaling (circa $-1,5\%$ per jaar).

Voor 'oude' functies is de relatie tussen het functiegebruik en de reële kostprijs zwakker en minder consistent. Bij de functies wassen van wasgoed en verlichting van gloeilampen bedraagt de prijsdaling circa $-1,5$ tot $-2,5$ per

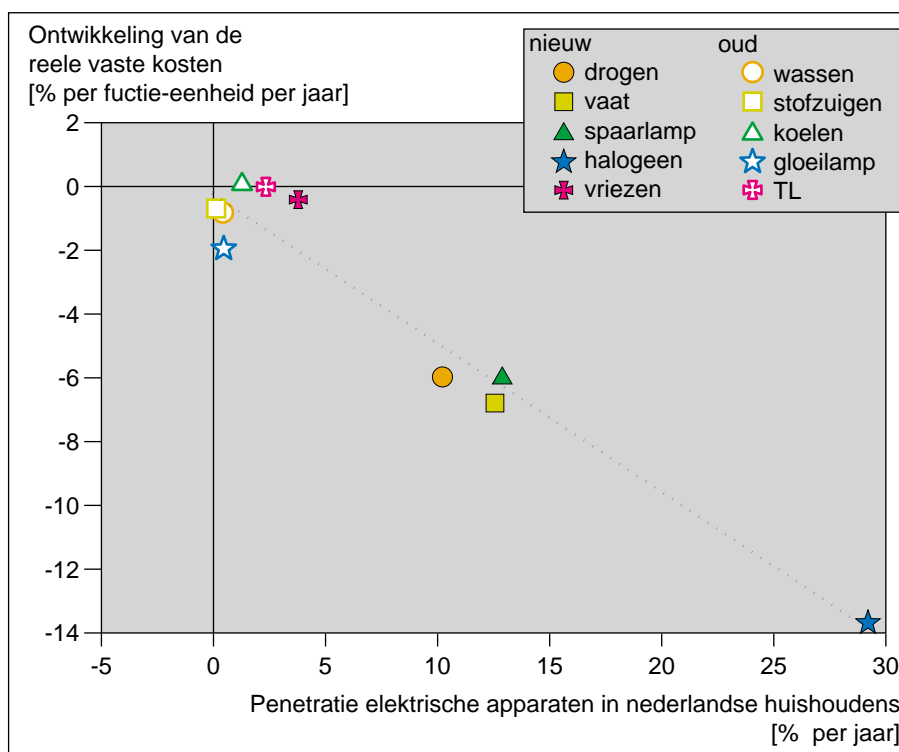
jaar, terwijl het functiegebruik met 2 tot 2,5% per jaar toeneemt. De functie koelen geeft de zwakste relatie te zien: de kostprijs is afgenomen met -0,5% per jaar, en het functiegebruik toegenomen met 0,7%.

Hierbij maken we de kanttekening dat deze functie samengesteld is uit drie koelfuncties, waarbij onderlinge substitutie optreedt⁶⁶. Bij stofzuigen en tl-verlichting ontbreekt de relatie: de kostprijs is weliswaar gedaald, maar ook het functiegebruik is afgenomen⁶⁷.

5.3.1 Relatie tussen de reële vaste kosten en de penetratie van apparaten

In deze paragraaf gaan we in op een gedeelte van de kostprijs en het functiegebruik: de relatie tussen de vaste kosten en de penetratie. De reden is tweeledig. Ten eerste verklaren deze aspecten een belangrijk deel van de ontwikkeling. Ten tweede kunnen we op deze wijze zien wat het verband is tussen kosten en functiegebruik op het moment van aanschaf van functies. In Figuur 18 is de relatie tussen vaste kosten en penetratie getoond voor alle onderzochte functies.

Figuur 18 De gemiddelde ontwikkeling van de penetratie van elektrische apparaten in Nederlandse huishoudens over de periode 1987-1997, afgezet tegen de gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling van de reële vaste kosten over dezelfde periode, per elektrische functie in het huishouden (in gemiddelde mutatie per jaar)



⁶⁶ Het koelen in een koelkast met vriesvak daalt sterk, terwijl het koelen in koelkasten zonder vriesvak en in 2-deurskoelkasten toeneemt. De prijs van koelkasten met en zonder vriesvak is gedaald, terwijl die van 2-deurskoelkasten is gestegen. Geabstraheerd tot 'koelen' (waarvoor substitutie-effecten wegvallen) is het functiegebruik licht toegenomen en de kostprijs licht gedaald.

⁶⁷ Zie paragraaf 5.2.2.

Deze figuur laat zien dat de statistische relatie tussen de toenemende penetratiegraad en de daling van de vaste kosten zeer sterk is. De punten liggen grofweg op een rechte lijn met richtingscoëfficiënt $-0,47$ en een hoge correlatie ($r^2 = 0,95$). Voor 'nieuwe' functies is het verband wederom sterker en consistentere dan voor de 'oude' functies.

Uit bovenstaande blijkt dat een daling van de kostprijs van de elektrische functies hand in hand is gegaan met een toenemende penetratie ervan in de huishoudens. Dit is hetgeen we conform de economische theorie verwachten: een stijging van de vraag gaat samen met een dalende prijs, en omgekeerd.

Voor deze studie is van belang welke richting deze causaliteit heeft: wordt de toegenomen penetratie veroorzaakt door de prijsdaling, of andersom? Alleen als de prijsdaling leidt tot de aanschaf van apparaten, kan een gedeelte van de groei van het energiegebruik verklaard worden door dit prijseffect. Wanneer de prijsdaling een *gevolg* is van de afzet, is er uiteraard geen prijseffect werkzaam.

Verskillende onderzoeken ondersteunen de eerste causaliteit: prijsdaling leidt tot aanschaf van elektrische apparaten. De aanschafprijs is namelijk een belangrijke factor in de beslissing van de consument om een elektrisch apparaat te kopen⁶⁸. Bij wasmachines en vaatwassers bijvoorbeeld is de prijs, ná de kwaliteit, het belangrijkste aspect in de beslissing⁶⁹. Voor 'oude' functies geldt dit waarschijnlijk minder sterk dan voor 'nieuwe' functies: op het moment dat een apparaat vervangen moet worden, neemt een consument gewoonlijk weinig tijd om zich te verdiepen in prijs- en kwaliteitsvergelijkingen. Dit doet hij echter wel wanneer hij overweegt om een apparaat voor de eerste keer aan te schaffen.

De vraag is nu of eveneens een onderbouwing is te geven voor de omgekeerde causaliteit: kan de prijsdaling een gevolg zijn van de toegenomen penetratie?

Op het eerste gezicht lijkt ook dit plausibel. Ten eerste kunnen, bij een toename van de afzet, productiekosten door schaalvoordelen dalen. Dit kan resulteren in een (verdere) daling van de consumentenprijs. Ten tweede kan door een toenemende afzet van een nieuwe technologie de concurrentie toenemen, hetgeen eveneens kan leiden tot een (verdere) daling van de consumentenprijs.

Echter, een nadere analyse van de introductie van nieuwe producten brengt ons tot een andere conclusie. Een producent brengt een nieuw product op de markt tegen een relatief hoge prijs. Hij kijkt of het product aanslaat, en probeert zo veel mogelijk voordeel te behalen van de 'voorlopers' die het product, ondanks de hoge prijs, toch willen hebben. Vervolgens verlaagt de producent de marktprijs *als marketingstrategie*, om nieuwe klanten aan te trekken. In feite komt schaalvergroting en concurrentie pas daarna op gang: als de vraag naar de producten toeneemt en het product in de groeifase terechtkomt⁷⁰. In deze fase kan er een iteratie ontstaan tussen kostprijzdaling en een stijgende afzet totdat het product verzadigd raakt in de markt.

⁶⁸ In Siderius en Van Dijk, 1992, krijgt het belang van de prijs bij de aanschaf van witgoedapparaten gemiddeld een cijfer 7 (op een schaal van 1 tot 10). Zie voor wasmachines, wasdrogers en vaatwassers: GEA, 1995, p.57.

⁶⁹ Siderius en Van Dijk, 1992.

⁷⁰ Verhage, 1990.

Bovenstaande betekent dat we kunnen concluderen dat bij 'nieuwe' functies de daling van de kostprijs leidt tot de aanschaf ervan. Producenten verlagen waarschijnlijk de prijs van apparaten om na de introductiefase de afzet te vergroten. Consumenten zijn hiervoor gevoelig omdat de prijs invloed heeft op de beslissing een apparaat al dan niet aan te schaffen. Vervolgens kan een iteratieproces ontstaan tussen kostprijddaling die leidt tot aanschaf en omgekeerd.

Voor 'oude' functies is de causaliteit minder goed te onderbouwen. Ten eerste stijgt de penetratie nauwelijks. De eventueel optredende kostprijddaling kan dus niet door de stijgende afzet worden verklaard. Ten tweede is het waarschijnlijk dat consumenten zich bij het vervangen van apparaten niet zo uitgebreid verdiepen in prijs- en kwaliteitsvergelijkingen.

Op grond van bovenstaande trekken we de conclusie dat de relatie tussen de ontwikkeling van het functiegebruik en die van de kostprijs sterk is op het moment van aanschaf van functies (met name van 'nieuwe' functies), en dat het prijseffect een rol speelt in de verklaring van de groei van het functiegebruik (met name bij 'nieuwe' functies).

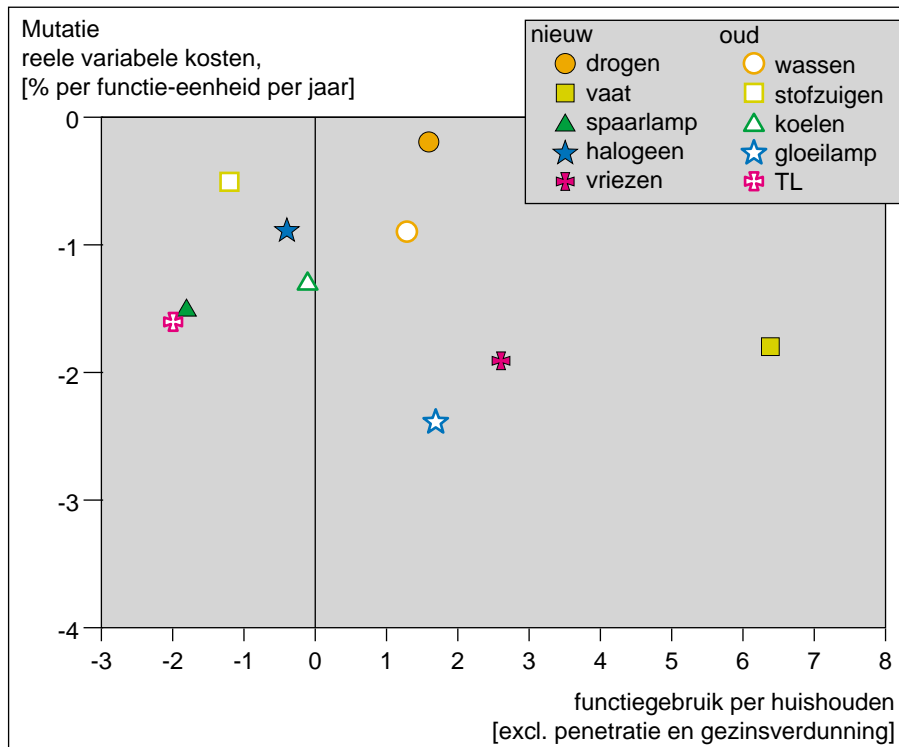
5.3.2 Relatie tussen de reële variabele kosten en het functiegebruik

In deze paragraaf onderzoeken we de relatie tussen functiegebruik en kostprijs in het gebruik van functies door een vergelijking te maken van de ontwikkeling van de variabele kosten en het functiegebruik.

In paragraaf 5.3.1 is getoond dat de reële variabele kosten van vrijwel alle functies in de zichtperiode zijn gedaald, hetgeen hoofdzakelijk elektriciteitskosten betreft. Het is denkbaar dat de daling van deze kosten aanleiding hebben geven tot een toename van het gebruik. Voor zover de kostendaling voortkomt uit efficiencyverbetering, wordt dit het reboundeffect van efficiencyverbetering genoemd.

In Figuur 19 wordt de relatie tussen het functiegebruik en de reële variabele kosten getoond. Het betreft het gemiddelde waarden, en wordt er onderscheid gemaakt tussen de 'nieuwe' en 'oude' functies. Het functiegebruik is gecorrigeerd voor gezinsverdunding en voor het effect van penetratie.

Figuur 19 De gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling van het functiegebruik versus de reële variabele kosten per elektrische functie in het huishouden (in gemiddelde mutatie per jaar), over de periode 1987-1997



De figuur laat zien dat de relatie tussen variabele kosten en functiegebruik voor een aantal functies aanwezig is, maar veel zwakker dan de relatie tussen de vaste kosten en de penetratie. Dit is het geval voor vaatwassen, wasgoed wassen en drogen, vriezen, en licht van gloeilampen.

Bij een aantal andere functies is deze relatie afwezig: deze bevinden zich niet in het rechter onderkwadrant van de figuur⁷¹:

- stofzuigen en tl-verlichting: de variabele kosten dalen, maar het functiegebruik daalt eveneens;
- verlichting van halogeen- en spaarlampen tonen een afname van het functiegebruik als het penetratie-effect en de gezinsverdunning hieruit worden weggelaten. De reden is een afname van het gemiddeld vermogen en van het gemiddeld aantal branduren per lamp⁷².

Het bovenstaande roept de vraag op: waarom is er bij de aanschaf van functies een consistent verband te constateren, en bij het gebruik van functies niet?

⁷¹ Omdat de variabele kosten vanaf 1995 zijn toegenomen, en het functiegebruik wellicht met vertraging op de kostprijzdaling reageert, is gecheckt of de ontwikkeling van de variabele kosten over de periode 1987-1995, afgezet tegen het functiegebruik over de periode 1987-1997 een ander beeld geeft. Het effect is sterker, maar geldt voor dezelfde functies.

⁷² Voor verlichting resulteert een negatieve ontwikkeling van het functiegebruik voornamelijk omdat het aantal branduren per lamp is afgenomen. Uit oogpunt van consistentie is het effect van de aanschaf van lampen buiten beschouwing gelaten (=penetratie). In de praktijk kan een verandering van de variabele kosten een effect hebben op het aantal lampen; dit is dus niet meegenomen.

Dit verschil heeft waarschijnlijk drie oorzaken:

- Ten eerste zijn de vaste kosten zeer *transparant* en de variabele niet. De consument ziet in de winkel precies hoeveel hij voor een apparaat moet betalen, maar hij heeft nauwelijks zicht op de variabele kosten als hij het apparaat eenmaal heeft gekocht. Menig consument is zich niet bewust van de prijs van een kilowattuur of van de hoogte van zijn energierekening⁷³. Ten tweede is het elektriciteitsverbruik van bijvoorbeeld een wasprogramma, of een aantal uren verlichting bij de consument niet bekend. Dientengevolge is er ook weinig kennis over de kosten hiervan. Dit betekent dat de consument zich in het gebruik van de functies überhaupt nauwelijks *kan* laten leiden door de elektriciteitskosten van die functies.
- Ten tweede lijken de energiekosten *beperkt* in relatie tot de vaste kosten, die in één keer moeten worden betaald. Een was laten draaien kost bijvoorbeeld slechts circa 35 cent aan elektriciteit, en een vaatwasser laten draaien circa 50 cent. De aanschafkosten lijken echter veel meer, hoewel ze in feite circa de helft van de totale kosten over de levensduur van een energiefunctie bedragen. Een consument is gevoeliger voor de aanschafprijs die in één keer betaald moet worden, dan de variabele kosten die verspreid over de tijd komen en minder van omvang zijn of lijken. Een voorbeeld is bijvoorbeeld het aanbod van een gratis mobiele telefoon, dat erg aantrekkelijk lijkt, maar waarbij men zich waarschijnlijk niet zo bewust is van de variabele kosten die met het gebruik samenhangen. Iets dergelijks speelt waarschijnlijk een rol bij het aanbod tegen zeer lage vaste kosten gebruik te maken van een internetprovider.
- Ten derde treedt *substitutie* op: het uitgespaarde geld door dalende elektriciteitskosten van de ene functie, wordt besteed aan andere zaken, waaronder ook (andere) energiefuncties. En omgekeerd: bij hogere kosten kan er minder worden uitgegeven. Wij hebben alleen de partiële relatie onderzocht, per functie, en hebben het effect op andere functies niet nader bekeken.

Er is dan ook sprake van een marktimperfectie. Zou er wel sprake zijn van een perfecte marktsituatie, dan zouden consumenten op de hoogte zijn van de prijzen, en hun gebruik van energiefuncties hierop (perfect) afstemmen. In het geval van de aanschaf van apparaten is deze relatie consistentere zoals we hebben gezien: het feit dat de vaste kosten transparant zijn en direct waarneembaar op het moment van aankoop, is waarschijnlijk een verklaring. Transparantie en gevoelde importantie van energiekosten voor de eindgebruiker zijn dan nodig om veranderingen in energiekosten te laten leiden tot gedragsveranderingen.

5.4 Prijselasticiteiten

Deze paragraaf geeft een kwantitatieve inschatting van de prijselasticiteiten van het functiegebruik. Met behulp van deze elasticiteiten wordt in de volgende paragraaf berekend welk gedeelte van de groei van het functiegebruik verklaard kan worden door de daling van de kostprijs van functies. We maken onderscheid tussen 'nieuwe' en 'oude' functies omdat bij de eerste de prijselasticiteit op het moment van aanschaf (op basis van de vaste kosten en penetratie) en die op het moment van gebruik (op basis van de varia-

⁷³ Bron: Siderius en Van Dijk, 1992; circa de helft van de ondervraagden geeft aan niet te weten wat de prijs van een kilowattuur is, en bijna een kwart geeft aan niet te weten hoe hoog de energierekening is.

bele kosten en het functiegebruik) is bepaald. Bij de 'oude' functies is dit onderscheid niet relevant omdat de penetratie nauwelijks is veranderd en er dus geen prijselasticiteit te bepalen is op het moment van aanschaf.

In hoofdstuk 4 is beschreven dat het functiegebruik vooral afhangt van het inkomen per persoon (vraagzijde) en de prijs van energiefuncties (aanbodzijde). Op het niveau van huishoudens speelt ook de gezinsverduunning een rol, zoals in paragraaf 5.2.2 is aangegeven (een verklarende factor aan de vraagzijde). Naast deze factoren onderscheiden we bij 'nieuwe' functies kwaliteitsverbetering als verklarende factor. Het feit dat functies een betere kwaliteit krijgen (bijvoorbeeld meer mogelijkheden op de computer, of betere droogresultaten van de wasdroger) maakt het gebruik aantrekkelijker.

Het inkomens-, prijs- en kwaliteitseffect moeten worden gescheiden om een kwantitatieve inschatting te kunnen maken van het prijseffect. Hiertoe zijn de volgende aannamen gedaan:

- *Inkomenselasticiteit*
Op basis van een studie van het CPB is de inkomenselasticiteit van het functiegebruik van elektrische functies ingeschat op 1,0 tot 1,5. Omdat de elasticiteit (in het CPB-onderzoek) niet constant is, maar afhankelijk van de consumptie, is de marge uit dat onderzoek als basis genomen. Omdat de inkomenselasticiteit een belangrijke verklarende variabele is voor het functiegebruik is de prijsgevoeligheid van uitkomsten getest voor een grote bandbreedte aan inkomenselasticiteiten. Ten eerste is de CPB-marge verbreed tot 0,8 - 2. Voorts lijkt het op basis van de resultaten van de casestudies van dit hoofdstuk aannemelijk te veronderstellen dat a) de inkomenselasticiteit voor 'nieuwe' functies hoger is dan voor 'oude' functies, die immers al bij alle inkomensklassen zijn doorgedrongen en b) de inkomenselasticiteit voor *aanschaf* van functies hoger is dan voor het *gebruik* per functie. Daarom is gerekend met twee varianten: één waarbij de inkomenselasticiteit voor 'nieuwe' en 'oude' functies en voor aanschaf en gebruik gelijk zijn aan de gemiddelde elasticiteit (0,8 tot 2), en één waarbij de inkomenselasticiteit voor 'nieuwe' functies viermaal hoger is dan voor 'oude' en voor aanschaf viermaal hoger dan voor gebruik.
- *Gezinsverduunning*
In paragraaf 5.2.2 is aangegeven dat het berekende effect van gezinsverduunning waarschijnlijk een overschatting is omdat hierbij de aanname is gedaan dat het elektriciteitsverbruik per huishouden onafhankelijk is van de gezinsgrootte. Bij 'nieuwe' functies veronderstellen we dat 75% van het effect van gezinsverduunning optreedt, omdat bij gezinsplitsing waarschijnlijk niet alle 'nieuwe' functies direct gedupliceerd worden. Bij 'oude' functies is het effect van gezinsverduunning voor 100% meegenomen omdat de 'oude' functies veelal tot de standaarduitrusting van een huishouden behoren.
- *Kwaliteit*
De gedachte is dat een verbetering van de kwaliteit van energiefuncties eveneens stimuleert om er meer van te gebruiken (bij gelijkblijvende kostprijs en inkomen). De technologische vernieuwing van 'nieuwe' functies gaat sneller dan van 'oude' functies. Bij computers is deze ontwikkeling bijvoorbeeld zeer sterk zichtbaar. Maar ook in bijvoorbeeld de verlichting is dit te zien: de spaarlampen zijn compacter van vorm en lichter geworden waardoor ze beter bruikbaar zijn in bestaande armaturen. Ook is het licht ervan in de loop der jaren meer gelijkenis gaan vertonen met het licht van gloeilampen.
We veronderstellen dan ook dat kwaliteitsaspecten alleen invloed hebben op het functiegebruik van 'nieuwe' functies. We nemen hierbij arbi-

trair aan dat 25% van de groei van het functiegebruik exclusief het effect van inkomen en gezinsverdunding, wordt bepaald door de kwaliteit. De rest is toe te schrijven aan het prijseffect.

Ten slotte is de gevoeligheid van de prijselasticiteiten getest voor de wetenschappelijke onzekerheden in het basismateriaal van functiepijzen en functiegebruik.

Op basis van de bovengenoemde aannamen is de prijselasticiteit voor 'oude' en 'nieuwe' functies berekend. In Tabel 7 is een gemiddelde waarde weergegeven.

Tabel 7 Prijselasticiteiten voor het functiegebruik per functiecategorie op het moment van aanschaf (berekend op basis van de vaste kosten en het penetratie-effect) en op het moment van gebruik (op basis van de variabele kosten en het functiegebruik), onder een groot aantal verschillende uitgangspunten op het gebied van de inkomenselasticiteiten

| variant omgevingsvariabelen | | | | | | | | | | | |
|---|--|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|------|------|------|------|------|
| rekenwaarden functiegebruik ⁷⁴ | | onder-waarde | boven-waarde | onder-waarde | boven-waarde | Gemiddelde waarde | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| inkomens-elasticiteit | geaggregeerd | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 0,8 | 0,8 | 1,25 | 1,25 | 2,0 | 2,0 |
| | 'nieuwe'/'oude' functies ⁷⁵ | 1 | 1 | 4 | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 |
| | aanschaf/gebruik ⁷⁶ | 1 | 1 | 4 | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 |
| Prijselasticiteiten | | | | | | | | | | | |
| 'nieuwe' functies | totaal | -4,3 | -2,9 | -3,6 | -2,6 | | | -3,6 | -3,1 | | |
| | aanschaf | | | | | -1,7 | -1,5 | -1,7 | -1,4 | -1,6 | -1,1 |
| | gebruik | | | | | | | -1,6 | -1,7 | | |
| 'oude' functies | totaal | 1,6 | 0,3 | 0,6 | -0,2 | | | 1,0 | 0,6 | | |
| | aanschaf | | | | | 0,5 | 0,4 | 0,7 | 0,5 | 1,6 | 1,3 |
| | gebruik | | | | | | | 0,8 | 0,3 | | |
| alle functies | totaal | -0,2 | -0,7 | -0,7 | -0,9 | | | -0,5 | -0,1 | | |
| | aanschaf | | | | | -0,2 | -0,2 | -0,1 | -0,1 | 0,6 | 0,5 |
| | gebruik | | | | | | | 0,1 | -0,3 | | |

Interpretatie van de resultaten:

- 'nieuwe' functies zijn op het moment van *aanschaf* prijsgevoelig. De gemiddelde berekende prijselasticiteit voor de *aanschaf* ligt rond de -1,5, variërend per functie van -0,8 tot -4;
- voor het *gebruik* van 'nieuwe' functies na *aanschaf* kan geen robuuste prijselasticiteit worden opgesteld. Hoewel de gemiddelde waarde redelijk

⁷⁴ Bedoeld wordt dat gerekend is met de onder- en bovenwaarde, respectievelijk de gemiddelde waarde, van het functiegebruik en de kostprijs zoals die in Tabel 3 zijn aangegeven. Bij de onder- en bovenwaarde is vervolgens gerekend met een gemiddelde inkomenselasticiteit (1,25). Bij de gemiddelde waarden is gerekend met drie varianten voor de inkomenselasticiteit (0,8; 1,25; 2,0)

⁷⁵ De inkomenselasticiteit van nieuwe functies is verondersteld even groot te zijn als die van oude functies (1), of is verondersteld vier keer zo groot te zijn (4).

⁷⁶ De inkomenselasticiteit bij de *aanschaf* is verondersteld even groot te zijn als die van het *gebruik* (1), of is verondersteld vier keer zo groot te zijn (4).

constant rond de $-1,5$ ligt, variëren de achterliggende waarden per functie van $-3,0$ tot $+1,5$;

- bij 'oude' functies kon voor zowel aanschaf als gebruik geen robuuste prijselasticiteit worden vastgesteld. De veranderingen in prijzen en afzet zijn te gering om een robuust prijseffect te kunnen destilleren.

5.5 Kwantitatieve uitwerking: hoe groot is het prijseffect?

In de vorige paragraaf hebben we gezien dat vooral de aanschaf van 'nieuwe' functies tamelijk robuust prijsgevoelig is. Bij aanschaf van 'oude' functies en bij het gebruik van 'oude' en 'nieuwe' functies zijn prijselasticiteiten niet robuust vast te stellen. De reden hiervoor is dat de schommelingen in prijs en afzet te gering zijn waardoor de onzekerheden in het basismateriaal groot zijn en de prijsfactor moeilijk individueel te isoleren is.

In het geval van de *aanschaf* van 'nieuwe' functies blijkt dat, afhankelijk van de aannamen omtrent de inkomenselasticiteit, 60-70% van de toename van de penetratie van 'nieuwe' functies uit de prijs kan worden verklaard.

Wanneer de aanschaf van 'oude' functies in het geheel niet, respectievelijk net zo prijsgevoelig is als de aanschaf van 'nieuwe' functies, kan 20-70% van de aanschaf van elektrische functies door huishoudens door de prijs worden verklaard.

Het *gebruik* van functies is naar alle waarschijnlijkheid minder prijsgevoelig dan de aanschaf. Wanneer het gebruik na aanschaf in het geheel niet gevoelig is voor de prijs, kan 10-35% van de totale inzet van energiefuncties (aanschaf én gebruik) worden verklaard uit de prijs. Hierbij is de 10% een onderschatting, en de 35% wellicht een redelijke middenschatting.

5.6 Een 'reboundeffect' van efficiency of aanschafsubsidies?

Op basis van de resultaten van de vorige paragraaf kunnen geen solide uitspraken worden gedaan over een eventueel reboundeffect van een verbeterde energie-efficiency van huishoudelijke elektrische apparaten. *Per functie* kan niet worden vastgesteld of en hoeveel minder van de functie wordt gebruikt als gevolg van de daling van de energiekosten (verbetering van de efficiency betekent minder energiegebruik en dus minder energiekosten).

Wel kan een indicatie worden gegeven van een mogelijk reboundeffect van een subsidie op de aanschaf van apparaten, bijvoorbeeld een subsidie van 100 gulden op relatief energie-efficiënte vrieskasten, op basis van de volgende aannamen:

- de prijselasticiteit is -1 , wat geringer is dan de elasticiteit voor 'nieuwe' functies;
- de netto-prijzdaling van de vrieskist, het effect van een wat hogere 'kale' prijs en de subsidie, stellen we op 10%;
- de zuinige vrieskist is 25% energie-efficiënter dan de gemiddelde vrieskist.

Onder deze voorwaarden zou $(100-10)/25 = 40\%$ van de initiële energiebesparing van de zuinige koelkast weglekken door extra vraag.

5.7 Verklaring energiegebruik elektrische functies huishoudens

Voor het totaal van de onderzochte functies zijn de effecten die de groei van het elektriciteitsverbruik bepalen kwantitatief in kaart gebracht (op grond van de bovenstaande resultaten). In Tabel 8 is hiervan een overzicht gegeven.

Tabel 8 Indicatie van de verklarende factoren achter het energiegebruik als gevolg van elektrische functies van huishoudens over de periode 1987-1997

| | Totaal elektrische functies Gemiddelde verandering (% per jaar) | 'Nieuwe' functies Gemiddelde verandering (% per jaar) | Oude functies Gemiddelde verandering (% per jaar) |
|---------------------------------|--|--|--|
| Elektriciteitsverbruik | 6% | 15% | 1% |
| <i>Verklaring vraagzijde</i> | | | |
| Inkomenseffect ⁷⁷ | 2%-pt | 3%-pt | 1%-pt |
| Gezinsverduunning ⁷⁸ | 1%-pt | 1%-pt | 1%-pt |
| <i>Verklaring aanbodzijde</i> | | | |
| Kostprijs effect | 3%-pt | 9%-pt | 0%-pt |
| Kwaliteitseffect ⁷⁹ | 1%-pt | 3%-pt | 0%-pt |
| Efficiency ⁸⁰ | -1%-pt | -1%-pt | -1%-pt |

Het elektriciteitsverbruik is gemiddeld 6% per jaar (per persoon) toegenomen. De helft hiervan kan verklaard worden door het prijseffect. Ook specifiek bij 'nieuwe' en 'oude' functies kan grofweg de helft van de toename van het elektriciteitsverbruik verklaard worden door de prijsdaling van de functies.

5.8 Conclusies

In hoofdstuk 5 hebben we onderzocht of de analyse die we op macroniveau hebben uitgevoerd, ook toegepast kan worden op microniveau, voor de elektrische functies in huishoudens. Voor tien concrete elektrische functies is gekeken in welke mate het prijsmechanisme, naast het effect van het inkomen en de efficiency, de groei van het elektriciteitsverbruik bepaalt. Daartoe is de ontwikkeling van het elektriciteitsgebruik, het functiegebruik, de efficiency en de kostprijs van deze elektrische functies over de periode 1987-1997 in kaart gebracht. Er is onderscheid gemaakt naar 'oude' en 'nieuwe' functies, afhankelijk van de mate van penetratie in de Nederlandse huishoudens⁸¹. Hieronder volgen de conclusies.

⁷⁷ Inkomenselasticiteiten 'nieuwe' functies: 2; 'oude' functies: 1; totaal: 1,5.

⁷⁸ Verondersteld is dat gezinsverduunning bij 'oude' functies voor 100% doorwerkt, en bij 'nieuwe' functies voor 75%.

⁷⁹ Verondersteld is dat van het effect exclusief het inkomenseffect en dat van gezinsverduunning bij 'nieuwe' functies gemiddeld 25% wordt verklaard door kwaliteitsaspecten en bij 'oude' functies 0%. Bij het totaal is verondersteld dat dit 13% is.

⁸⁰ Deze resulteert uit de bovenstaande effecten.

⁸¹ Nieuwe functies: het drogen van wasgoed, reinigen van serviesgoed, vriezen in een vrieskast/-kist, licht van spaarlampen, licht van halogeenlampen. Oude functies: wassen van wasgoed, stofzuigen, koelen in een koelkast, licht van gloeilampen, licht van tl-lampen.

Resultaten

- Het gemiddeld functiegebruik is in de zichtperiode toegenomen. Voor 'nieuwe' functies is de toename sterker dan voor 'oude' (voor 'nieuwe' functies is de toename circa 16% per persoon per jaar, voor 'oude' circa 1,5% per persoon per jaar).
- De reële kostprijs (per functie-eenheid) is in de zichtperiode afgenomen. Voor 'nieuwe' functies is de afname sterker dan voor 'oude' (de kostprijs van 'nieuwe' functies is met circa -3% per jaar afgenomen, die van 'oude' functies met ruim -1% per jaar).

Relatie tussen kostprijs en functiegebruik

- De statistische *relatie tussen de kostprijs van elektrische functies en het functiegebruik is sterk*.
- Circa 10-35% van de totale inzet van energiefuncties (aanschaf 'en gebruik) kan worden verklaard door het prijseffect⁸².

Moment van aanschaf

- Met name op het moment van *aanschaf* is de relatie tussen reële kostprijs en het functiegebruik sterk: een daling van de vaste (aanschaf)kosten gaat hand in hand met een met een toenemende penetratie ervan in de huishoudens.
- Het prijseffect speelt een rol in het verklaren van deze toegenomen penetratie: het is plausibel dat een daling van de prijs van apparaten (in eerste instantie door producenten ingezet als marketingstrategie) consumenten aanzet tot de aanschaf ervan. Dit is voor 'nieuwe' functies te beargumenteren.
- Afhankelijk van de aannamen omtrent de inkomenselasticiteit wordt voor 'nieuwe' functies 60-70% van de toename van de penetratie uit de prijs verklaard. Voor het geheel aan elektrische huishoudelijke functies is de inschatting dat dit voor 20-70% het geval is, afhankelijk van de prijsgevoeligheid van 'oude' functies.

Moment van gebruik

- Op het moment van *gebruik* van functies (na de aanschaf) is de relatie tussen de partiële variabele kosten en het functiegebruik zwak en inconsistent. Deze relatie is *per functie* onderzocht; het effect van een kostprijsdaling op andere functies is buiten beschouwing gelaten.

Transparantie van de kosten

- De mate van *transparantie van de kosten* heeft zeer waarschijnlijk invloed op het al dan niet optreden van het prijseffect:
 - de vaste kosten (aanschafkosten) zijn voor de consument transparant;
 - de variabele kosten zijn intransparant voor de consument omdat zij weinig kennis hebben van de prijs per kilowattuur en het elektriciteitsverbruik van de functie. Bovendien worden de elektriciteitskosten waarschijnlijk gevoeld als van minder importantie als de vaste kosten.

⁸² Voor de berekening van het prijseffect zijn een aantal aannamen gedaan. Onder andere voor de inkomenselasticiteit (zie tabel 7); verder is verondersteld dat het gebruik van functies (als het apparaat eenmaal is aangeschaft) niet prijsgevoelig is. Hiermee is de uitkomst een onderschatting (ook het gebruik zal waarschijnlijk enigszins reageren op veranderingen in de prijs van energiefuncties). 35% is wellicht een redelijke middenschatting.



6 Evaluatie van de analyseresultaten

6.1 Inleiding

In dit onderzoek is gekozen voor een vernieuwde manier om de groei van het energiegebruik te analyseren. We hebben het energiegebruik gerelateerd aan het gebruik van energiefuncties: de prestaties die met behulp van energie worden geleverd. Deze aanpak levert interessante inzichten op, zoals de onderkenning dat de prijs van energiefuncties een rol speelt in het gebruik ervan. Dit inzicht is een aanvulling op de gebruikelijke wijzen om de groei van het energiegebruik te verklaren.

De nieuwe aanpak brengt echter ook een aantal handicaps met zich mee. Zo zijn er kanttekeningen te plaatsen bij de gevolgde aanpak en de resultaten. Het centraal stellen van energiefuncties heeft bijvoorbeeld consequenties voor het schaalniveau waarop de ontwikkeling ervan onderzocht kan worden. Dit wordt in paragraaf 6.2 behandeld.

Een ander punt van aandacht is, dat factoren die in gebruikelijke analyses naar voren komen in deze analyse een andere plaats hebben. In paragraaf 6.3.1 gaan we in op de rol van verschuivingen in sectorstructuren. In paragraaf 6.3.2 bespreken we of andere factoren dan het prijsmechanisme meespelen in de verklaring van de hoge penetratie van energiefuncties, zoals leefstijlen. In paragraaf 6.3.3 tenslotte komen de verschillende benaderingen van energie-efficiency aan bod.

Een analyse van energiefuncties is gebaseerd op inconsistente basismateriaal omdat geen dataset aanwezig is die past bij onze analysebenadering. Dit heeft tot gevolg dat we voor verschillende data met onzekerheden kampen. In paragraaf 6.4 worden de onzekerheden rond een aantal variabelen en elasticiteiten geëxpliciteerd, waaronder de prijselasticiteit, de efficiency-ontwikkeling en de ontwikkeling van het elektriciteitsgebruik van de elektrische huishoudelijke functies.

In paragraaf 6.5 gaan we in op de gevoelheden van het model. Er zijn geen kwantitatieve gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Er wordt kort ingegaan op de inkomenselasticiteit van het functiegebruik omdat deze een sterk bepalende elasticiteit is. Verder geven we aan wanneer de terugkoppeling via het prijsmechanisme relatief groot dan wel klein is.

Tenslotte trekken we in paragraaf 6.6 conclusies over de robuustheid van het model om toekomstige beleidsrichtingen gericht op het (op termijn) reduceren van CO₂-emissies, tegen het licht te houden op hun effectiviteit.

6.2 Confrontatie van de macro- en microanalyse

In deze paragraaf stellen we ons de vraag welke verschillen de gevolgde analysemethode op macro- en microniveau oplevert.

Energiefuncties is een vrij abstract begrip. We kunnen er alle kanten mee uit omdat de 'prestaties' waar het om gaat van velerlei aard kunnen zijn. Verlichting, koelen, reinigen, drogen, zowel in huiselijke als in bedrijfsomstan-

digheden, vallen onder deze paraplu. Deze diversiteit impliceert dat we ons op micro-niveau een voorstelling van energiefuncties kunnen maken, en dit kunnen vangen in specifieke eenheden (zoals lumenuur, kubieke meters koelruimte, etc.). Elke functie heeft echter zijn eigen eenheid, en optellen tot 'totalen energiefuncties' kan niet.

Op hogere schaalniveaus blijft het begrip energiefuncties dus abstract en zonder eenduidige eenheid. De ontwikkeling van het gebruik en van de kostprijs is op dit niveau op twee manieren te bepalen:

- *Microroute*
De ontwikkeling van het functiegebruik en de kostprijs van individuele functies op microniveau kunnen de basis zijn die vervolgens worden geabstraheerd. Voor de elektrische functies van huishoudens is dit met behulp van indices en weging gedaan⁸³. Met behulp van deze gegevens kan de prijselasticiteit (van het functiegebruik voor de kostprijs van de functies) voor individuele functies en gewogen totalen worden bepaald. Dit is eveneens gedaan in de analyse van de elektrische functies van huishoudens.
- *Macroroute*
De ontwikkeling van het functiegebruik en de kostprijs kunnen worden berekend met behulp van gegevens over de ontwikkeling van het inkomen, de efficiency en de vaste kosten op een algemeen niveau (sector- of macroniveau), en met behulp van elasticiteiten en coëfficiënten uit de literatuur. Dit is gedaan op macroniveau met behulp van de gepresenteerde modellering.

Voor huishoudens is de analyse via de microroute geconfronteerd met de macroaanpak op sectorniveau. Er is gekeken of beide benaderingen met elkaar sporen. We hebben hiertoe de gevonden waarden uit de microbenadering ingevoerd in het model (aangevuld met waarden van elasticiteiten uit de literatuur). Het bleek dat het model de gevonden ontwikkelingen goed weergeeft.

Met betrekking tot het schaalniveau van de analyse concluderen we het volgende:

- een analyse op microniveau levert inzicht in afzonderlijke functies, inclusief de prijselasticiteit per functie. Abstraheren tot totalen kan alleen via indices en weging;
- op macro- of sectorniveau is de ontwikkeling van het gebruik en de kostprijs van energiefuncties niet rechtstreeks te onderzoeken vanwege het ontbreken van een eenduidige eenheid;
- via abstraheren van een microanalyse óf met behulp van de modellering kan een indicatie van deze ontwikkeling worden gegeven.

6.3 Kanttekeningen bij de benadering via energiefuncties

In deze paragraaf plaatsen we drie kanttekeningen bij de gevolgde analysemethode. Eerst gaan we in op de plaats van sectorverschuivingen in onze analyse. Daarna bespreken we factoren die via de benadering via energiefuncties als verklarende factor voor de groei van het energiegebruik geen specifieke rol spelen, zoals leefstijlen. Op de derde plaats gaan we kort in op de definitie van efficiency.

⁸³ Hierbij is het elektriciteitsverbruik per persoon aan de betreffende functie in 1997 als wegingsfactor gebruikt.

6.3.1 Sectorstructuur

De modellering van de mechanismen in dit onderzoek richt zich op de eindgebruiker van energie. Dit zijn huishoudens of consumenten, maar ook het bedrijfsleven, de overheid en instellingen als ziekenhuizen.

In gebruikelijke macroanalyses van het energiegebruik wordt een gedeelte van de groei verklaard door verschuivingen tussen sectorstructuren⁸⁴. De gedachte is dat naast de economische groei en de toepassing van energiezuinige apparaten het nationale energiegebruik wordt beïnvloed door veranderingen in de sectorstructuur van ons land. Wanneer bijvoorbeeld een verschuiving optreedt van energie-intensieve bedrijfstakken naar minder energie-intensieve, neemt het energiegebruik dientengevolge af.

In onze benadering is de sectorstructuur een *resultante* van veranderingen in de vraag naar energiefuncties. Het kan zijn dat consumenten minder, of juist meer energie-intensieve producten gaan kopen. Het kan ook zijn dat bedrijven (zelf als eindgebruiker van energie) zich gaan richten op andersoortige producten of diensten, of zich door bijvoorbeeld veranderende randvoorwaarden gedwongen zien om de productie te beëindigen. Dergelijke veranderingen leiden tot een verschuiving in het gebruik van energiefuncties, waardoor, als resultante, de sectorstructuur kan veranderen. *In de vraag naar energiefuncties is de sectorstructuur dus impliciet meegenomen.* In deze analyse wordt het structureffect daarom niet als aparte verklarende factor onderscheiden.

6.3.2 Leefstijl als verklaring voor de verhoogde afzet van elektrische apparaten

In deze paragraaf gaan we in op de vraag of verandering in leefstijl de verhoogde afzet van elektrische apparaten in huishoudens kan verklaren.

In verschillende onderzoeken wordt erop gewezen dat veranderingen in leefstijlen een rol kunnen spelen in de toenemende penetratie van elektrische apparaten⁸⁵. Een voorbeeld is de behoefte aan tijdsbesparing bij bijvoorbeeld tweeverdieners: dit speelt een rol in de toename van het aantal wasdrogers en vaatwassers bij huishoudens⁸⁶. Een tweede voorbeeld zijn veranderingen in de vrije tijdsbesteding, zoals computergebruik bij jongeren en mobiliteit en reizen bij ouderen. Hebben deze factoren een plaats in de door ons gebruikte onderzoeksmethode?

Wij gebruiken de micro-economische benadering als basis voor onze analyse. Hierin wordt het gedrag van individuen bepaald door de prijs van goederen, het aanbod en het beschikbaar budget. De preferenties en het streven naar 'maximale behoeftenbevrediging' bepalen wat het individu subjectief *wil*, terwijl het budget en de prijzen bepalen wat objectief *kan* (grensnuttheorie)⁸⁷.

In dit licht betekent het dat we ons realiseren dat het gedrag van eindgebruikers van energie in de praktijk niet alleen bepaald wordt door de rationele

⁸⁴ Zie onder ander CPB, 1997; Boonekamp, 1998; Jeeninga, 1997.

⁸⁵ Zie onder andere Jeeninga en Van Hilten, 1998; Boonekamp en Jeeninga, 1999; Siderius en van Dijk, 1992.

⁸⁶ Boonekamp en Jeeninga, 1999; Siderius en van Dijk, 1992.

⁸⁷ In economische termen bewerkstelligt een verandering van de preferenties een verschuiving *van* de vraagcurve, en een aanpassing van de vraag als gevolg van prijsveranderingen een verschuiving *langs* de vraagcurve.



afweging van prijzen en inkomsten. Preferenties, mode en trends spelen wel degelijk een rol. Echter, in de ontwikkeling van de prijzen ligt de voorwaarde voor het al dan niet aanslaan van trends. Zolang prijzen hoog zijn, zijn het 'voorlopers' die de functie aanschaffen. Gewoonlijk komt een product pas in de groeifase wanneer ook de prijs ervan daalt. Consumenten zijn immers gevoelig voor de prijs van apparaten⁸⁸. Er zijn bijvoorbeeld weinig voorbeelden van elektrische apparaten die in veel huishoudens zijn aangeschaft *zonder* dat de prijs is gedaald.

6.3.3 Energie-efficiency

In dit onderzoek verstaan we onder energie-efficiency het energiegebruik per eenheid energiefunctie. Een verbetering van de efficiency resulteert dus in een vermindering van de hoeveelheid energie die nodig is om de 'prestatie' van de energiefunctie te kunnen leveren. Dit sluit aan bij de definitie van energiebesparing in het Actieprogramma Energiebesparing⁸⁹.

Het (theoretisch) voordeel van een benadering via energiefuncties is, dat ontwikkelingen in behoeften en in het gedrag niet als be- of ontsparing worden aangemerkt, maar als veranderingen in functiegebruik. Een voorbeeld is wassen, waarvoor de efficiency wordt uitgedrukt in energiegebruik per kilogram wasgoed en niet als energiegebruik per gedraaid programma. Op deze wijze kan bijv. zichtbaar worden gemaakt dat een toename van de wasfrequentie al dan niet gepaard gaat met een verandering van de totale hoeveelheid wasgoed (dus of het gaat om vaker kleinere wassen draaien of om een toename van de totale hoeveelheid wasgoed). Veranderingen in het gedrag worden zo zichtbaar in een verandering van het aantal kilogrammen dat men wast, en 'vervuilt' niet de efficiency. Een ander voorbeeld is de ontwikkeling dat PC's gemiddeld een steeds groter vermogen hebben. De mogelijke toepassingen nemen daarbij eveneens toe, hetgeen in deze analyse gezien wordt als een verbetering van de kwaliteit van de functie computergebruik, en niet als een ontsparing.

Het streven is dus om via de benadering van energiefuncties veranderingen in het energiegebruik van een eenheid 'standaardprestatie' van een energiefunctie te scheiden van veranderingen in het gedrag of die van de kwaliteit van de energiefunctie⁹⁰.

6.4 Onzekerheden

Het ontbreken van een passende set data voor het uitvoeren van de analyses op macro- en microniveau betekenden een handicap bij de uitvoering van het onderzoek. Dit heeft de volgende consequenties gehad:

- er zijn vele verschillende bronnen gebruikt, met name in de analyse van de elektrische functies in huishoudens;
- op basis van hetgeen beschikbaar was, is waar nodig een inschatting gemaakt. Bij de analyse van de huishoudens heeft dit geresulteerd in minimum- en maximumwaarden;

⁸⁸ Siderius en Van Dijk, 1992.

⁸⁹ In het Actieprogramma staat: 'Verbetering van de energie-efficiency wordt gemeten als een vermindering van de hoeveelheid energie die nodig is om een product, activiteit of dienst te leveren'.

⁹⁰ Zie voor vraagstukken die te maken hebben met het bepalen van de systeemgrenzen en definitie van energie-efficiency: Jeeninga en Van Hilten, 1999.

- de zichtperiode van het onderzoek is relatief kort: op macroniveau 1982-1997 en voor de huishoudens 1987-1997. Het niet beschikbaar zijn van (consistent) materiaal over een langere periode, is de reden voor deze keuze;
- er is zo nodig gewerkt met peiljaren omdat geen consistente tijdreeksen beschikbaar of samen te stellen waren.

Hieronder gaan we in op een aantal specifieke punten waar door het ontbreken van basismateriaal onzekerheden zijn ontstaan.

6.4.1 Onzekerheden in de macroanalyse

We bespreken twee onzekerheden die in de analyse op macroniveau naar voren kwamen: de ontwikkeling van de efficiency en de prijselasticiteit voor de energieprijzen.

Efficiencyontwikkeling

Zowel het CPB als het ECN geven een inschatting van de energie-efficiency (of energiebesparing) over de afgelopen periode.

Het CPB gaat uit van de economische groei en de groei van het energiegebruik: het verschil is de energie-intensiteit. Deze wordt verklaard door structuur- en besparingseffecten⁹¹. Voor huishoudens zijn veranderingen in de huishoudgrootte en veranderingen in het apparatenbezit bijvoorbeeld structureffecten, de rest is besparing⁹². Over de periode 1986-1995 bedroeg het besparingseffect gemiddeld -1% per jaar (terwijl het structureffect voor een ontsparing van ¼% per jaar zorgde).

Het ECN volgt een bottom-up benadering. Voor afzonderlijke apparaten en functies wordt de energie-efficiency bepaald. Deze wordt geaggregeerd tot een gemiddelde landelijke ontwikkeling⁹³. Volgens deze methode komt men op een gemiddelde efficiencyverbetering over de periode 1982-1996 van -1,8% per jaar. Het gaat hierbij om technische verbeteringen, terwijl veranderingen in de prestatie van het apparaat en de gebruikstijd of penetratie hier niet onder vallen⁹⁴.

Het verschil tussen ECN en CPB is (onder andere) te verklaren doordat bij de CPB-benadering het 'besparingseffect' het saldo is van ontsparende en besparende effecten. Het is de resultante van veranderingen in de gebruiksduur, van het vermogen van apparaten en van de technische efficiencyverbetering. Als PC's intensiever worden gebruikt omdat er meer mee mogelijk is, betekent het extra energiegebruik een ontsparing. Als de gemiddelde stofzuiger een groter vermogen krijgt, is dit eveneens een ontsparing. Het besparingseffect van -1% per jaar is in feite dus opgebouwd uit een technisch efficiencyeffect (dat groter is dan -1% per jaar), en een ontsparing door veranderingen in het gebruik en in de kwaliteit van de energiefuncties.

In deze analyse is de inschatting van de energie-efficiency van het ECN gebruikt omdat deze het beste past bij de door ons gevolgde benadering.

⁹¹ Groot en Koopmans in: Energiemonitor 1998/4, CBS.

⁹² Jeeninga en Van Hilten, 1999.

⁹³ Jeeninga en Van Hilten, 1999.

⁹⁴ Boonekamp en Jeeninga, 1999, ten bate van Milieubalans RIVM.



Energieprijselasticiteit

Met betrekking tot de prijselasticiteit voor de energieprijs zijn er twee zaken relevant om op deze plaats te noemen. Ten eerste zijn dit enkele kanttekeningen bij het feit dat we de elasticiteiten constant veronderstellen. Ten tweede gaan we in op de beschikbare data in de literatuur.

In het onderzoek hebben we constante waarden voor de prijselasticiteit voor de energieprijs verondersteld. Hier plaatsen we de volgende kanttekeningen bij:

- de prijselasticiteit is in feite een functie van de energieprijs: de elasticiteit is momenteel relatief laag omdat de energieprijs laag is. Bij hoge energieprijzen komen relatief duurdere besparingsopties binnen bereik, en de elasticiteit neemt daardoor toe⁹⁵;
- op lange termijn kunnen de prijselasticiteiten hoger zijn dan op korte termijn: na verloop van tijd komen er meer besparingsopties beschikbaar en kunnen prijsdalingen optreden waardoor het besparingspotentieel wordt vergroot⁹⁶. Hier tegenover staat dat de elasticiteiten op termijn ook lager zouden kunnen zijn omdat dan de goedkope maatregelen zijn gerealiseerd⁹⁷;
- prijselasticiteiten zijn in feite niet symmetrisch: bij een prijsverhoging is de elasticiteit hoger dan bij een prijsverlaging omdat reeds aangeschafte energiezuinige apparatuur bij een prijsverlaging niet wordt weggedaan.

De energieprijselasticiteit van het energiegebruik geeft aan in welke mate het energiegebruik reageert op een verandering van de energieprijs. Deze reactie kan (bij een verhoging van de energieprijs) bestaan uit:

- het aanschaffen van energiezuinige apparatuur en good housekeeping;
- verandering van het gedrag waardoor minder van de energiefunctie gebruikt wordt.

In feite is de prijselasticiteit van het energiegebruik opgebouwd uit een prijselasticiteit van de efficiency (aanschaffen en gebruik van energiezuinige apparatuur) en een prijselasticiteit van het functiegebruik (verandering van het functiegebruik).

In de literatuur zijn verschillende onderzoeken gedaan naar de prijselasticiteit van het energiegebruik. Hierbij wordt echter geen duidelijk onderscheid gemaakt tussen de bovengenoemde elasticiteiten⁹⁸. Soms wordt een elasticiteit voor de good housekeeping onderscheiden⁹⁹. Vaak wordt hoofdzakelijk gekeken naar de aanpassingen in de sfeer van de efficiency¹⁰⁰.

Voor dit onderzoek betekent dit het volgende: de energieprijselasticiteit van de efficiency is gebaseerd op Koopmans e.a., 1999, waarbij uitgegaan wordt van de macro lange termijn elasticiteit. Hierin wordt het lange termijn effect van energieprijveranderingen op het gebruik van energiezuinige apparatuur

⁹⁵ CPB, 1992.

⁹⁶ CPB, 1992.

⁹⁷ Stuurgroep regulerende energieheffingen, 1992.

⁹⁸ Alleen het gemaakte onderscheid in Pronk en Blok, 1991, kan als zodanig worden opgevat. Hierin wordt de prijselasticiteit van het energiegebruik in het verkeer gezien als een optelling van drie elasticiteiten: die van de afgelegde afstand, van het brandstofverbruik per kilometer en die van de omvang van het wagenpark.

⁹⁹ Bijvoorbeeld in Winter, e.a., 1991.

¹⁰⁰ Zie ook CPB, 1992.

meegenomen. De prijselasticiteit van het energiegebruik is ingeschat op basis van het aanwezige materiaal, waarbij niet altijd duidelijk is of alle effecten in de elasticiteit zijn meegenomen. Er is uitgegaan van het overzicht in A. de Groot, 1998. Zie voor de waarden bijlage B.

6.4.2 Onzekerheden in de microanalyse

In deze paragraaf bespreken we twee onzekerheden die in de analyse op microniveau naar voren kwamen: de discrepantie tussen de ontwikkeling van het energiegebruik en die van de efficiency, en de inkomenselasticiteit.

Energiegebruik en efficiency

Gegevens over het elektriciteitsverbruik van de huishoudelijke elektrische functies zijn in eerste instantie ontleend aan EnergieNed (BEK van verschillende jaren). Het gemiddeld elektriciteitsverbruik per toestel per huishouden wordt door EnergieNed ingeschat met behulp van de penetratiegraden, het vermogen en de bedrijfstijd; in een aantal gevallen wordt in plaats van de laatste twee het verbruik per programma en de gebruiksfrequentie gebruikt (vaatwasser, wasmachine, wasdroger), of het verbruik per 24 uur en het aantal gebruiksdagen (koelapparatuur). De cijfers over de gebruiksfrequentie en het verbruik per programma die door EnergieNed zijn gebruikt, en in mindere mate de overige basisgegevens, wijken echter af van de gegevens in andere onderzoeken die door ons gebruik zijn voor het in kaart brengen van de ontwikkeling van het functiegebruik. Dit heeft de volgende consequenties:

- het energiegebruik per functie is door EnergieNed berekend met behulp van aannamen/cijfers die slechts geringe veranderingen te zien geven over de jaren en gezien kunnen worden als voorzichtige schattingen;
- door ons is het functiegebruik berekend op basis van de gegevens van EnergieNed, plus gegevens uit andere onderzoeken waaruit veelal een grotere toename van het functiegebruik blijkt. Gemiddeld komt voor een aantal (voor het totale energiegebruik belangrijke) functies het functiegebruik hoger uit dan wanneer uitsluitend de gegevens van EnergieNed gebruikt zouden zijn;
- de efficiencyontwikkeling die berekend wordt als het verschil tussen de mutatie van het elektriciteitsverbruik en die van het functiegebruik, komt hierdoor voor deze functies hoger uit dan de waarden die in diverse onderzoeken worden genoemd;
- we hebben er daarom voor gekozen om de omgekeerde weg te bewandelen: op grond van de gevonden waarden voor de ontwikkeling van het functiegebruik en die van de efficiency is de ontwikkeling van het energiegebruik ingeschat¹⁰¹. Voor een aantal functies is het energiegebruik veel sneller gestegen dan op basis van de gegevens van EnergieNed leek (met name de wasdroger, vaatwasser, halogeenverlichting en vriezen; met andere woorden: de meeste 'nieuwe' functies).

Inkomenselasticiteit

De aannamen omtrent de inkomenselasticiteit van het functiegebruik zijn belangrijk voor de uitkomsten: bij een hoge inkomenselasticiteit wordt een groot deel van de groei van het functiegebruik verklaard door de toename van het inkomen, en omgekeerd.

¹⁰¹ Hierbij zijn we uitgegaan van de absolute waarden van EnergieNed uit 1997, en hebben het energiegebruik in 1987 berekend.

Ook de inkomenselasticiteit is in feite niet constant maar afhankelijk van het inkomen¹⁰². In deze studie gaan we uit van (per elektrische huishoudelijke functie) constante elasticiteiten.

Op basis van een studie van het CPB is een inschatting gedaan voor de inkomenselasticiteit van functies. Er is verondersteld dat deze voor 'nieuwe' functies hoger is dan voor 'oude' functies: de laatste hebben al een hoge penetratiegraad en zullen waarschijnlijk weinig reageren op inkomensgroei. Van de 'nieuwe' functies is de markt groeiend, en waarschijnlijk speelt bij de beslissing een apparaat aan te schaffen, het inkomen wel een rol. Verder zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd met een onder-, midden- en bovenvariant van de inkomenselasticiteit (zie paragraaf 5.4).

6.5 Gevoeligheden

In deze paragraaf wordt ingegaan op de gevoeligheden van de modellering. We geven aan welke parameters of coëfficiënten, waarvan de waarden onzeker zijn, een belangrijke invloed hebben op de uitkomsten. We doen dit aan de hand van de in hoofdstuk 4 onderscheiden mechanismen: het inkomenseffect en de indirecte prijseffecten. De efficiency is in de voorgaande paragrafen besproken.

Inkomenseffect

Het inkomenseffect verklaart het grootste deel van de groei van het inkomen. De inkomenselasticiteit (van het functiegebruik) is dan ook één van de meest bepalende elasticiteiten in de modellering. Omdat er geen gegevens voorhanden zijn over de waarde van deze elasticiteit, is de waarde ervan (op macroniveau) afgeleid uit die van de andere elasticiteiten en coëfficiënten (zie bijlage B). In het kort komt het hierop neer: de inkomenselasticiteit van het functiegebruik geeft aan in welke mate het functiegebruik reageert op een verandering van het inkomen. Ten eerste stijgt het functiegebruik evenredig mee met het energiegebruik (directe effect), dus met een inkomenselasticiteit van het energiegebruik (die wel bekend is). Ten tweede zijn er twee indirecte effecten:

- het functiegebruik stijgt sterker dan het energiegebruik (ten gevolge van de inkomensstijging) vanwege de autonome efficiencyverbetering, relatief ten opzichte van de economische groei;
- een gedeelte van dit effect wordt tenietgedaan door de indirecte prijseffecten van de efficiencyverbetering: het functiegebruik stijgt per saldo sterker dan het energiegebruik, maar enigszins verminderd dan zonder dit effect.

De inkomenselasticiteit van het functiegebruik is gevoelig voor de waarde van de autonome efficiencyverbetering ten opzichte van de economische groei: deze bepaalt in welke mate het functiegebruik sterker groeit dan het energiegebruik.

Daarnaast is de inkomenselasticiteit gevoelig voor de waarden van de prijselasticiteit van het functiegebruik voor de kostprijs van energiefuncties en voor de verhouding tussen de vaste en variabele kosten.

Indirecte effecten

De indirecte terugkoppelingen via de prijs van energiefuncties worden beïnvloed door vijf elasticiteiten/coëfficiënten. Hieronder is in Tabel 9 aangege-

¹⁰² Brink, 1997.

ven bij welke waarden de indirecte negatieve effecten relatief groot dan wel klein zijn.

Tabel 9 Gevoeligheid van de terugkoppelingen voor de waarde van elasticiteiten en coëfficiënten

| Elasticiteit/coëfficiënt | Waarde waarbij de negatieve terugkoppeling relatief groot is |
|---|--|
| Kostprijselasticiteit van het functiegebruik (γ) ¹⁰³ | Bij een groot verschil tussen de waarde van de prijselasticiteit van het energiegebruik en de prijselasticiteit van de efficiency |
| Verhouding tussen vaste en variabele kosten (v en w) | Als <i>vaste kosten domineren</i> in kostprijs, is de terugkoppeling van de vaste kosten relatief groot. Als <i>variabele kosten domineren</i> , is de terugkoppeling van de efficiency relatief groot. |
| Effect van efficiency op de vaste component van de kostprijs van energiefuncties (δ) | Bij een lage waarde overheerst de negatieve terugkoppeling van efficiency via de variabele kosten (rebound) de positieve meekoppeling van efficiency via de vaste kosten. |
| Prijselasticiteit van het energiegebruik voor de energieprijis (η) | Bij een hoge elasticiteit remt een energieprijisverhoging het energiegebruik relatief sterk af. |

6.6 Robuustheid van het model en aanbevelingen voor monitoring

Door in deze analyse energiefuncties centraal te stellen, hebben we gebruik moeten maken van gegevens die niet 'pasklaar' waren. Zoals in de voorgaande paragrafen is aangegeven, is op verschillende plaatsen met behulp van wel aanwezig materiaal een inschatting gemaakt. Bij de analyse op microniveau is gebruik gemaakt van vele bronnen hetgeen resulteert in een ruime onzekerheidsmarge¹⁰⁴.

Voor de robuustheid van het onderzoek betekenen de onzekerheden het volgende:

- de opeenstapeling van onzekere gegevens levert een substantiële onzekerheidsmarge op;
- door de inschattingen in de bijlagen te expliciteren, hebben we inzichtelijk gemaakt op welke punten de analyse berust op aannamen, en op welke aannamen;
- de resultaten moeten eerder gezien worden als een *indicatie* dan als een precieze berekening. Echter, als eerste analyse die vanuit het oogpunt van energiefuncties tot in detail is uitgevoerd, zijn de conclusies ons inziens in grote lijnen ruim voldoende onderbouwd. Het feit dat de analyse van de elektrische functies van huishoudens ook in de modellering de analyseaanpak ondersteunt, is hiervoor een onderbouwing;
- het lijkt plausibel om op basis van de uitgevoerde analyse over de periode 1982-1997 (macro) te onderzoeken welke rol het prijseffect speelt in verschillende beleidsrichtingen;

¹⁰³ Onder kostprijs verstaan we de kostprijs van energiefuncties.

¹⁰⁴ Zie Tabel 3 en bijlage C waarin de onder- en bovenwaarde van het functiegebruik en de kostprijs per functie zijn weergegeven. Zie verder figuur 4 in bijlage C waarin de marges grafisch zijn weergegeven.

- het lijkt tevens plausibel om een voorzichtige raming te maken van de inspanningen die nodig zijn om een absolute reductie van CO₂-emissies te realiseren. Deze uitkomsten moeten echter niet gezien worden als wetenschappelijk onderbouwde uitspraken over de precieze of wenselijke invulling van toekomstig energiebeleid. Het gaat erom een inschatting te geven van de ordegrrootte van die inspanning, zonder deze tot in detail te berekenen.

7 Universele geldigheid?

7.1 Inleiding

De analyse die we in deze rapportage presenteren, is uitgevoerd op macro-niveau en geïllustreerd met een voorbeeld voor de huishoudens. De vraag die gesteld kan worden, is: zijn de gevonden mechanismen ook voor andere sectoren geldig?

De modellering van de mechanismen in dit onderzoek richt zich op de eindgebruiker van energie. Dit zijn huishoudens of consumenten, maar ook het bedrijfsleven, de overheid, kantoren en dergelijke. De mechanismen die we als verklaring hebben gevonden voor de groei van het energiegebruik, spelen bij al deze energiegebruikers een rol. Overal waar behoefte is aan 'prestaties' waarvoor energie nodig is, is de prijs waartegen deze prestatie geleverd wordt van belang in de beslissing hoeveel men ervan wil gebruiken. Ook bepaalt het inkomen (of de winst) bij alle energiegebruikers hoeveel ruimte er is om de energiefuncties uit te breiden.

De groei van het nationale energiegebruik verklaren we dus als het ware als de som van de ontwikkelingen bij alle eindgebruikers, waarbij we veronderstellen dat de beschreven mechanismen een rol spelen.

In de onderstaande paragrafen gaan we in op een drietal specifieke sectoren: de industrie (paragraaf 7.2), het goederentransport (paragraaf 7.3) en de utiliteit (paragraaf 7.4). We geven aan hoe we in grote lijnen de geldigheid van het gedachtengoed uit de voorgaande hoofdstukken zien voor deze sectoren. Tenslotte staan in paragraaf 7.5 de bevindingen over de vraag of het gedachtengoed universeel geldig is, kort samengevat.

7.2 Geldigheid van het gedachtengoed voor de industrie

De industrie kent vele energiefuncties binnen de productieprocessen: destilleren, verwarmen, verdampen, drogen, gieten, etc. Hoewel de functies zeer divers van aard zijn, kan als functie-eenheid een fysieke eenheid worden genomen die gerelateerd is aan het product: kilogrammen (of tonnen) product, of het aantal stuks.

De mechanismen die we in de analyse hebben onderscheiden, spelen in de industrie de volgende rol:

Het volume aan producten neemt toe, sinds 1993 met ruim 3% per jaar¹⁰⁵. Het energiegebruik groeit niet mee: de toename is slechts 1% per jaar¹⁰⁶. De reden voor deze ontkoppeling is de verbetering van de energie-efficiency waardoor per kilogram product steeds minder energie nodig is.

De reden voor de toename van het productievolume wordt vaak gezocht in de vraag, namelijk in veranderingen in de markt en de marktpositie. Analoog aan het gepresenteerde gedachtengoed beargumenteren we hieronder

¹⁰⁵ Het productievolume is tussen 1990 en 1993 licht afgenomen, en is daarna (tot 1998) met ruim 3% per jaar gestegen (Energie-monitor 1999-IV).

¹⁰⁶ Het energiegebruik van de industrie is tussen 1993 en 1998 met ongeveer 1% per jaar toegenomen (Energie-monitor 1999-IV).



waarom ook een aanbodfactor, namelijk de kostprijs van energiefuncties, een rol speelt.

1 *Inkomenseffect.*

Een reden om de productie uit te breiden (en daarmee de output aan producten), ligt in de beschikbaarheid van (extra) 'inkomen' in de vorm van winst of toegevoegde waarde. Dit biedt immers de mogelijkheid om te investeren. De toegevoegde waarde van het bedrijfsleven is sinds 1993 met 2,7% per jaar toegenomen¹⁰⁷. Het is op voorhand niet te zeggen welk gedeelte van de volumegroei bepaald wordt door het inkomen en welk gedeelte door een prijseffect.

2 *Prijseffect.*

De vraag is of veranderingen in de kostprijs van energiefuncties leiden tot een toename van het productievolume (het functiegebruik).

De verschillende productiefuncties waarvoor energie gebruikt wordt, staan niet los van elkaar: het productieproces is een aaneenschakeling van verschillende energiefuncties. Een daling van bijvoorbeeld de kostprijs van het droogproces zal niet zondermeer leiden tot een toename van drogen in de productie, omdat drogen slechts één schakel is in het gehele productieproces. Het effect van een daling van de kostprijs van afzonderlijke functies is indirect: het leidt tot een daling van de productiekosten, uitgedrukt in de kosten per kilogram product. Dit is een kental dat in de bedrijfsvoering een belangrijke rol speelt. Een belangrijke drijfveer voor de investeringen is namelijk het reduceren van deze kosten. Bijvoorbeeld door automatisering waardoor de (relatief dure) arbeidskosten kunnen dalen¹⁰⁸.

De aandacht voor de reductie van de kosten per kilogram product is begrijpelijk wanneer we de mogelijkheden bezien die dit biedt:

- Het realiseren van een *hogere output*.
In groeiemarkten zijn investeringen in bedrijven (mede) gericht op het vergroten van de output. Wanneer investeringen tevens een verlaging van de kosten per product opleveren, zullen ze eerder worden toegepast. Immers: hoe lager de kosten, hoe beter de rentabiliteit. Bedrijven beoordelen investeringen (mede) op rationele gronden: gewoonlijk wordt als minimumeis gesteld dat een investering zich binnen 2 tot 3 jaar terugverdient, en wordt vaak gekozen voor de best renderende. Een daling van de kosten per kilogram heeft zo invloed op de productieomvang.
- Een *hogere winst*.
Vooral in een markt waarin groei niet mogelijk is, is verlaging van de kosten per (kilogram) product een mogelijkheid om de winst te vergroten, en daarmee de marktpositie te verbeteren.

We concluderen dat het aannemelijk is dat veranderingen in de kostprijs van energiefuncties invloed hebben op de productieomvang, zij het indirect via de kostprijs per kilogram product.

Wellicht is dit effect nog sterker dan bij huishoudens omdat bij bedrijven rationele overwegingen een grotere rol spelen in investeringsbeslissingen dan bij huishoudens.

¹⁰⁷ Over de periode 1993-1998. De toegevoegde waarde komt overeen met het Bruto Binnenlands Product (CBS).

¹⁰⁸ Andere mogelijkheden zijn: een besparing op (relatief dure) grondstoffen of het verhogen van de productie bij ongeveer gelijkblijvende totale kosten, bijvoorbeeld door de doorloop-snelheid van de producten te vergroten.

De kostprijs van energiefuncties in de industrie bestaat niet uitsluitend uit de investeringskosten in de apparatuur en de energiekosten. De kosten voor arbeid en grondstoffen spelen bijvoorbeeld een belangrijke rol. Daarnaast zijn er kosten voor onderhoud of voor onderzoek. Dit is een punt van verschil met de onderzochte huishoudelijke elektrische functies.

Het stimuleren van energiebesparing door subsidies heeft twee effecten. Enerzijds leidt een subsidie tot lagere investeringskosten waardoor de energiebesparende maatregel (net) rendabel wordt. Een lager relatief energiegebruik (per product) is het gevolg. Anderzijds is de energiebesparende maatregel vaak onderdeel van een productieverhogende investering. Een energiebesparende maatregel wordt namelijk vrijwel nooit uit het oogpunt van energiebesparing alleen gedaan. Daarvoor nemen de energiekosten in de totale kosten een te bescheiden plaats in. De subsidie helpt de rentabiliteit van de investering in productie-uitbreiding te verbeteren. Het effect kan zijn: een relatieve energiebesparing en een absolute energietoename.

7.3 Geldigheid van het gedachtengoed voor het goederenvervoer

Goederenvervoer gaat gepaard met het gebruik van brandstof, en is in die zin een energiefunctie. Als eenheid kan de fysieke hoeveelheid getransporteerde goederen worden genomen: het volume in tonkilometers.

Het goederenvervoer is de afgelopen decennia in volume toegenomen, met name het vervoer door de lucht en per vrachtauto, en de zeevaart van containers. De oorzaak van deze toename ligt enerzijds aan de vraagkant, namelijk doordat producenten door het vervoer bijvoorbeeld schaalvoordelen kunnen realiseren (productie op één centrale plaats), of logistieke voordelen.

Anderzijds speelt echter het aanbod van vervoersdiensten een rol: de prijs en kwaliteit ervan. Met dit laatste wordt bedoeld: de snelheid van het vervoer, de betrouwbaarheid en de flexibiliteit¹⁰⁹. Het binnenlandse wegvervoer is bijvoorbeeld in de afgelopen 25 jaar circa 2% per jaar goedkoper geworden, en bijna 1% per jaar sneller.

Een analyse wijst uit dat ruwweg een derde tot de helft van de groei van het goederenvervoer verklaard kan worden door de verbetering van de prijs-kwaliteitverhouding. Bij de relatief 'jonge' vervoerswijzen wegvervoer en luchtvracht lijkt een groter deel van de groei hierdoor te kunnen worden verklaard dan bij andere vervoerswijzen¹¹⁰.

Dit betekent dat ook in deze sector de groei van het functiegebruik (volume aan goederenvervoer) gedeeltelijk verklaard kan worden door de ontwikkeling van de kostprijs van dat vervoer.

7.4 Geldigheid van het gedachtengoed in de utiliteit

De utiliteit is een sterk uiteenlopende sector: van bejaardenhuizen tot kantoren en laboratoria. In de kantoorhoudende utiliteit stijgt het elektriciteitsgebruik sterk, met gemiddeld 6% per jaar in de periode 1987-1994¹¹¹. Welke rol speelt het prijsmechanisme in de verklaring van deze groei? Heeft ook hier een goedkoper aanbod geleid tot meer gebruik?

¹⁰⁹ De prijs-kwaliteit verhouding kan worden uitgedrukt als de 'verplaatsingsweerstand'.

¹¹⁰ Dings, e.a., 1999.

¹¹¹ Van der Ham, 1996 (Needis).

Vanwege een gebrek aan consistente data is afgezien van een gedetailleerde analyse. Er is een beperkte analyse uitgevoerd om deze vraag te beantwoorden voor de functie automatisering in de kantoorhoudende dienstverlening. De conclusies hiervan zijn als volgt. Meer details staan in bijlage D.

Het toenemend computergebruik (meer dan 10% per jaar) en een daling van de reële aanschafkosten van computers en toebehorende apparaten (circa – 4% per jaar) zijn hand in hand gegaan in de zichtperiode. Hoewel geen hard verband bewezen kan worden, lijkt het aannemelijk dat ook hier het prijsmechanisme een rol speelt. In de utiliteit worden aanschaf- en energiekosten op een rationele manier meegenomen in de investeringsbeslissingen. Dit betekent dat een daling van de aanschafkosten een stimulans kan zijn om eerder tot de (eerste) aanschaf over te gaan. De prijsdaling biedt geen verklaring voor de automatiseringsdrang; het is echter wel een factor die bij kan dragen aan een hoge vlucht van het computergebruik.

In algemene zin lijkt het aannemelijk dat het prijsmechanisme een rol kan spelen in de toename van het energiegebruik in de utiliteit, met name bij de elektrische functies.

7.5 Bruikbaarheid van het theoretisch model voor prospectieve analyses

In deze paragraaf bespreken we de punten van aandacht bij het gebruik van het theoretisch model dat we op macroniveau hebben opgesteld voor een analyse van toekomstig beleid.

De volgende punten zijn bij het gebruik van het model voor een prospectieve analyse van belang:

- Het basismateriaal bevat veel onnauwkeurigheden, zodat de uitkomsten met voorzichtigheid moeten worden geïnterpreteerd. Er kunnen *indicaties* worden gegeven van de effecten van toekomstig beleid, geen absolute uitspraken.
- In de afgelopen decennia zijn steeds ‘nieuwe’ energiefuncties op de markt gekomen en toegepast. Met name bij huishoudens heeft dit geleid tot een flinke toename van het elektriciteitsverbruik, zoals we hebben gezien in hoofdstuk 5. Bij het gebruik van het model voor de toekomst, gaan we van de veronderstelling uit dat er ook in de toekomst behoefte blijft aan nieuwe (toepassingen van) energiefuncties. Het wellicht de vraag of het tempo waarin ‘nieuwe’ functies het afgelopen decennium hun weg vonden *in huishoudens*, ook naar de toekomst is door te trekken. We gaan ervan uit dat er behoefte blijft bestaan, en dat aanbod tegen dalende prijzen zal blijven leiden tot een toename van het energiefunctiegebruik (*ceteris paribus*).
- We hebben in de modellering *elasticiteiten* verondersteld die gebaseerd zijn op de ontwikkelingen in de afgelopen decennia. Het is aannemelijk dat bij veranderingen in deze ontwikkelingen ook de elasticiteit zou kunnen veranderen. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat de prijselasticiteit van het energiegebruik verhoogt bij een flinke stijging van de prijs van energie. Deze effecten laten we buiten beschouwing in het volgende hoofdstuk (maar plaatsen een kanttekening waar relevant).

8 Aanknopingspunten voor het beleid

8.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken hebben wij onze analyse uiteengezet van de mechanismen achter de groei van het energiegebruik. We hebben laten zien dat de kostprijs van energiefuncties invloed heeft op het gebruik ervan, en dat dit mechanisme een substantieel gedeelte van de groei in de afgelopen periode verklaart.

We gebruiken deze retrospectieve analyse in dit hoofdstuk om naar de toekomst te kijken. Welke effecten hebben verschillende beleidsrichtingen tegen het licht van het prijseffect? Is beleid dat hoofdzakelijk gericht is op efficiencyverbetering voldoende om de CO₂-emissies te stabiliseren of te reduceren? Welke sturing is effectief?

We veronderstellen dat de coëfficiënten en elasticiteiten die we gevonden hebben over de periode 1982-1997 representatief zijn voor de periode die voor ons ligt. Op punten waar dit relevant is geven we aan wat het effect is wanneer deze zich wel zullen wijzigen.

In paragraaf 8.2 bespreken we welke benodigde CO₂-reductie na 2010 te verwachten is. Hieruit volgen twee fictieve beleidsdoelstellingen. In paragraaf 8.3 staat beschreven op welke wijze verschillende beleidstypen worden gehinderd of bijgestaan door het prijsmechanisme. We gaan in op het efficiencybeleid, beleid gericht op het verhogen van de energieprijzen, een verplichting voor de inzet van schone energie en tenslotte beleid dat de kostprijs van energiefuncties verhoogt. In paragraaf 8.4 bekijken we in concreto welke mate van inspanning er nodig is om de fictieve beleidsdoelen uit paragraaf 8.2 te realiseren, en in welke mate de hiervoor genoemde beleidstypen gehinderd dan wel geholpen worden door tegen- en meekoppelingen. Deze uitkomsten moeten gezien worden als illustratie, niet als wetenschappelijke uitspraak over de invulling van het energiebeleid van de toekomst. Het gaat uitdrukkelijk om een indicatie van de benodigde inspanning, niet om aanbevelingen voor het overheidsbeleid.

8.2 Verder na Kyoto: welke uitdagingen?

De uitstoot van broeikasgassen door menselijk handelen (waaronder CO₂) draagt naar alle waarschijnlijkheid bij aan klimaatverandering. Om de schade hiervan te beperken en om de kans op destabilisatie van het wereldklimaat klein te houden, moet de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer stabiliseren op een duurzaam niveau. In dit onderzoek concentreren we ons op CO₂. De concentratie ervan stabiliseert wanneer de emissie ervan in evenwicht is met de opname door de oceanen en de biosfeer. De emissie is nu circa twee keer zo hoog als de natuurlijke opnamecapaciteit¹¹².

Voor de VN is het uiteindelijke doel de concentratie van broeikasgassen te stabiliseren op een duurzaam niveau, zoals in het VN-klimaatverdrag staat

¹¹² Een uitstoot van ca. 3,5 GtC per jaar wordt gezien als duurzaam; de uitstoot in 1990 bedroeg 7,4 GtC (Bezinningsgroep Energiebeleid, 2000). GtC staat voor Gigaton koolstof, oftewel 1 miljard ton koolstof.



verwoord. In het Kyoto-protocol, dat een uitwerking geeft aan het verdrag, is vastgelegd dat de gezamenlijke uitstoot van broeikasgassen van geïndustrialiseerde landen in de periode 2008-2012 tot 5,2% onder de gezamenlijke uitstoot in 1990 moet zijn gebracht. Voor Nederland geldt een reductiedoelstelling van 6%. De helft van de benodigde inspanningen zijn maatregelen binnen Nederland, de andere helft kan door middel van flexibele instrumenten in het buitenland worden gerealiseerd¹¹³. Een gedeelte van de reductie zal worden gerealiseerd door een verminderde uitstoot van andere broeikasgassen dan CO₂; het grootste aandeel aan de reductie zal echter door vermindering van CO₂-emissies gerealiseerd worden.

Met het realiseren van de Kyoto-doelstellingen is nog geen duurzame situatie gerealiseerd. Ook na 2012 zal internationaal klimaatbeleid noodzakelijk zijn om forse emissiereducties mogelijk te maken. Wanneer we ervan uitgaan dat op termijn het principe van gelijkheid zal gelden om de benodigde inspanningen te verdelen, zullen geïndustrialiseerde landen hun CO₂-emissies moeten terugbrengen tot (de orde van grootte van) 25% van het huidige niveau rond het jaar 2100¹¹⁴.

De vormgeving van internationaal klimaatbeleid voor de periode na 2012 is nog zeer onzeker. Er is nog geen zicht op (onder andere) het verdelingsprincipe dat gekozen zal worden, op de doelstellingen voor een volgende termijn, op de instrumenten of op de sancties. Ondanks al deze onzekerheden is het nuttig om ons een idee te vormen van de mogelijke hoofdlijnen van een CO₂-reductiebeleid voor Nederland op lange termijn.

Omdat doelstellingen voor de verder weg gelegen toekomst nog niet voorhanden zijn, is een fictieve bandbreedte voor de inspanningen voor de komende eeuw het uitgangspunt voor dit hoofdstuk:

- Het voortzetten van de inspanningen op het niveau van de Kyoto-afspraken: een reductie van broeikasgasemissies (waaronder CO₂) van circa 5% in 20 jaar, waarvan de helft door Nederlandse maatregelen. Hierbij gaan we ervan uit dat de overige reductie in andere landen gerealiseerd wordt. Voor CO₂ gaan we (gemakshalve) uit van een stabilisatie, en veronderstellen dat de resterende reductie door andere broeikasgassen wordt gerealiseerd.
- Een reductie van CO₂-emissies van 75% over de komende eeuw. Hierbij gaan we ervan uit dat de gemiddelde benodigde reductie van uitstoot ook in Nederland gerealiseerd zal moeten worden. Voor de komende 50 jaar gaan we uit van een emissiereductie van 40%.

Hoewel deze 'doelstellingen' fictief zijn, geven ze wel een indruk van de omvang van de inspanning die op termijn mogelijk nodig zijn om een duurzaam niveau van CO₂-emissies te realiseren. In de hierna volgende paragrafen wordt dit uitgewerkt. Dit moet gelezen worden als illustratie, als indicatie van de inspanning zonder dat dit een wetenschappelijke uitspraak is over de benodigde inspanning in absolute termen. Het is dan ook bedoeld als bijdrage aan een discussie over de bakens voor het lange termijn energiebeleid.

¹¹³ Onder flexibele instrumenten wordt verstaan: handel in emissiereducties met andere geïndustrialiseerde landen, uitvoeren van emissiereducerende projecten in andere geïndustrialiseerde landen (Joint Implementation) en het uitvoeren van emissiereducerende projecten in niet-geïndustrialiseerde landen (Clean Development Mechanism). Zie ook Bezinningsgroep Energiebeleid, 2000.

¹¹⁴ Houghton et al., 1996. Het principe van gelijkheid houdt in: voor elke wereldburger het recht op een gelijke hoeveelheid milieugebruiksruimte.

8.3 Mogelijke aangrijpingspunten voor beleid

In deze paragraaf behandelen we de vraag op welke grootheden het beleid zich kan richten om een stabilisatie of reductie van CO₂-emissies te realiseren. Dit doen we aan de hand van de analyse die in de voorgaande hoofdstukken is gepresenteerd. We geven aan welke rol het prijsmechanisme speelt bij verschillende typen beleid.

Op basis van de analyses op macroniveau (zie hoofdstuk 4) en microniveau (zie hoofdstuk 5), blijkt dat de groei van het energiegebruik verklaard wordt door vijf variabelen:

- het inkomen/toegevoegde waarde;
- de vaste kosten van energiefuncties;
- de efficiencyontwikkeling;
- de prijs van energie voor eindgebruikers;
- het aandeel van duurzame en schone fossiele energie in de energievoorziening.

Beleid gericht op de reductie van CO₂-emissies heeft dus bovenstaande vijf aangrijpingspunten tot haar beschikking. We geven in de hierna volgende paragrafen aan welk effect beleid dat gericht is op deze sturingsrichtingen heeft op de prijs van energiefuncties, en welke rol het prijseffect speelt in het terugdringen van CO₂-emissies. We gaan daarbij niet in detail in op het in te zetten instrumentarium, maar geven een aantal voorbeelden (zowel potentiële instrumenten als instrumenten die in het huidige beleid ook worden ingezet). Hierbij is volledigheid niet het doel: we willen deze analyse die zich richt op een vrij hoog abstractieniveau illustreren met voorbeelden. In de daadwerkelijke invulling zullen echter vele wegen naar Rome kunnen leiden.

De eerste optie, sturing op het inkomen of de toegevoegde waarde, is in de huidige maatschappelijke context niet wenselijk, ineffectief en onnodig kostbaar. Deze optie blijft daarom buiten beschouwing.

8.3.1 Efficiencybeleid

Met beleid dat gericht is op een sterke verbetering van de efficiency wordt (in de termen van dit onderzoek) beoogd dat elke eenheid energiefunctie met minder energie geleverd kan worden. Een minuut douchen, een kilogram schone was, een kubieke meter ruimte met een temperatuur van 20°C: dezelfde prestatie met minder energie.

Verhoging van de energie-efficiency is en blijft noodzakelijk om een absolute reductie van het energiegebruik en de emissies te bereiken. Er zijn twee manieren om met beleid efficiencyverbetering te stimuleren, elk met een andere rol van het prijsmechanisme:

1 *Efficiencyverbetering die samengaat met kostendaling*

Rendabele energiebesparingsmaatregelen waardoor minder energie wordt gebruikt en er dus minder kosten zijn; de kostendaling kan worden versterkt door bijvoorbeeld subsidiëring van de aanschafkosten.

In het licht van het beschreven prijsmechanisme is een kanttekening bij deze wijze van efficiencyverbetering op zijn plaats. Het wordt namelijk gehinderd door het prijsmechanisme omdat de prijs van een eenheid energiefunctie als gevolg van het beleid daalt.

Dit komt doordat:

- met het afnemend energiegebruik ook de energiekosten dalen (per eenheid energiefunctie);
- subsidiëring tot een daling van de vaste kosten kan leiden.

Eindgebruikers passen hun gedrag enigszins aan op de lagere kosten door iets meer energiefuncties te gaan gebruiken¹¹⁵. Dit gaat gepaard met een toename van het energiegebruik.

Een indicatie voor de omvang van deze tegenkoppeling: gemiddeld lekt circa een zesde deel van de beleidsinspanning weg (berekend op macro-niveau). Dit is tevens af te lezen uit de formule in paragraaf 8.3 een verhoging van de efficiency (N) met 1%, leidt tot een afname van het gebruik van energiedragers (E) met $-0,84\%$.

Uit de case elektrische functies in huishoudens kwam naar voren dat het reboundeffect (per functie) alleen kan optreden als de energiekosten transparant zijn. Alleen dan kan de consument het gebruik van de betreffende functie aanpassen op de kosten ervan. Dit is op dit moment niet het geval. Uiteraard is er wel een (gering) effect van efficiencyverbetering op de vraag naar energiefuncties: de uitgespaarde vaste of variabele kosten worden weer op andere wijze besteed, gedeeltelijk weer aan energiefuncties.

Voor bedrijven voegen we nog een laatste kanttekening toe. Efficiencyverbeterende maatregelen worden, met uitzondering van de energie-intensieve bedrijfstakken, niet genomen uit oogpunt van kostenbesparing. Hiervoor zijn de energiekosten in verhouding tot de overige kosten te gering. Vaak worden de maatregelen genomen in combinatie met een uitbreiding van de productie. Relatieve energiebesparing, per eenheid energiefunctie, wordt gerealiseerd, maar tegelijkertijd neemt het absolute aantal eenheden toe. Wanneer het volume-effect groter is dan de besparing, kan dit tot een absolute toename van het energiegebruik leiden.

2 *Efficiencyverbetering als gevolg van kostenverhoging*

Efficiencyverbetering kan ook het gevolg zijn van ander beleid dat gepaard gaat met een verhoging van de kostprijs van energiefuncties. Bijvoorbeeld door de inzet van dure schone energie, door de verhoging van de energieprijs, door regulerende normstelling, of door differentiatie van de vaste kosten (zie de hierna volgende paragrafen). De hogere kostprijs van de energiefunctie maakt efficiëncymaatregelen rendabel die dat voordien niet waren.

Deze efficiencyverbetering zal (netto) géén reboundeffecten met zich meebrengen omdat de uiteindelijke prijs van energiefuncties hoger blijft dan de oorspronkelijke.

8.3.2 **Verhogen van de prijs van energie voor eindgebruikers**

Een tweede mogelijke beleidsrichting om het fossiele energiegebruik terug te dringen, is het verhogen van de prijs van fossiele energie voor eindgebruikers, bijvoorbeeld door een heffing op fossiele energie of door een sys-

¹¹⁵ Het feit dat de vaste kosten als gevolg van een verhoogde efficiency iets toenemen, wordt hier buiten beschouwing gelaten. Omdat het netto effect van de vaste en variabele kosten in dit onderzoek een daling van de kostprijs van energiefuncties is gebleken, een effect dat dus tegengesteld is aan het directe efficiencyeffect.

teem van verhandelbare emissierechten¹¹⁶. We veronderstellen in deze analyse dat de opbrengsten van de prijsverhoging worden teruggesluisd naar de eindgebruiker. Ook kan de prijsverhoging het gevolg zijn van de inzet van dure schone energie (zie paragraaf 8.3.3), of optreden als gevolg van ontwikkelingen op de wereldmarkt.

Sturing via de energieprijzen heeft geen direct effect (verhoging van de energieprijzen reduceert op zich nog niet de CO₂-emissies), alleen indirecte effecten via het prijsmechanisme.

- *Via efficiency*: de hogere energieprijzen stimuleert om energie-efficiëntere apparaten en installaties te kopen omdat deze bij de hogere prijs rendabel worden.
- *Via substitutie*: de hogere energieprijzen stimuleert om energie-intensieve producten of diensten te vervangen door meer energie-extensieve.
- *Via schone energie*: door de hogere fossiele energieprijzen wordt schone energie rendabeler.

Er moet worden aangetekend dat de eerste twee mechanismen alleen optreden als de energiekosten transparant en van enige importantie zijn.

Wanneer de prijsverhoging het resultaat is van ontwikkelingen op de wereldmarkt of van een verplichting voor de inzet van schonere en duurere energie is er naast deze twee effecten een klein derde effect: een geringe vraagvermindering naar energiefuncties. Door de hogere energieprijzen blijft er minder geld over voor de aanschaf van andere goederen, waardoor het consumptie- en investeringsvolume minder hard groeit dan zonder duurere energie het geval zou zijn.

Overheidsheffingen zijn op macroniveau budgetneutraal omdat de opbrengsten worden teruggesluisd, of omdat deze via de schatkist de economie stimuleren.

Een indicatie van de omvang van het effect: een verhoging van de energieprijzen met 1% per jaar leidt tot een CO₂-reductie van 0,4% per jaar (bij een prijselasticiteit van het energiegebruik van 0,4). In de formule (3) in paragraaf 4.7 is dit zichtbaar in de coëfficiënt voor de energieprijzen (P_i).

8.3.3 Inzet van schone energie

Bij een toename van schone energie in de totale energievoorziening, neemt het gebruik van de fossiele brandstoffen navenant af (bij een gegeven totaal energiegebruik). De CO₂-emissies dalen hiermee, omdat fossiele brandstoffen een hogere CO₂-intensiteit hebben. Het tempo is afhankelijk van de koolstofintensiteit van de schone energie en van die van de fossiele energie die vervangen wordt. Bij de inzet van duurzame energie komen geen CO₂-emissies vrij, bij die van bijvoorbeeld fossiele energie met CO₂-opslag is de CO₂-uitstoot beperkt.

Schone energie kan op een aantal manieren worden gestimuleerd, waaronder:

1 *Subsidiëring en fiscale stimulering*

Door subsidiëring of fiscale stimulering worden de kosten van schone energie teruggebracht tot een niveau waarbij deze vorm van energie

¹¹⁶ Een systeem van verhandelbare emissierechten kan leiden tot een verhoging van de energieprijzen doordat het ingestelde emissieplafond een prijs genereert voor CO₂-uitstoot en maatregelen om die uitstoot te verminderen uitlokt. De kosten die hieraan verbonden zijn, zullen (gedeeltelijk) worden doorberekend in de prijs van producten en energie.

(net) rendabel is. Dit kan op het niveau van de eindgebruikers zijn, maar ook op productieniveau. In beide gevallen is er geen of slechts een beperkt effect op de kostprijs van schone energie. Dit betekent dat alleen een direct effect optreedt: een vermindering van CO₂-emissies door de lagere CO₂-intensiteit van dit type energie.

2 *Verplicht aandeel schone energie*

Een versnelde inzet van schone fossiele en duurzame energie kan ook worden gerealiseerd door een verplichting van overheidswege tot een bepaald aandeel duurzame energie in de afname door de eindgebruiker, of in de levering door de producent. Dit percentage kan jaarlijks toenemen.

Naast het directe effect is er in deze gevallen een indirecte meekoppeling wanneer de schone energie duurder is dan de fossiele. Via het prijsmechanisme draagt de inzet van schone energie bij aan efficiencyverhoging en een verminderd functiegebruik. Dit zijn dezelfde effecten die beschreven zijn bij de bespreking van de verhoging van de energieprijs in paragraaf 8.3.2: een effect via efficiencyverbetering en via substitutie. Daarnaast treedt geringe vraagvermindering naar energiefuncties op doordat schone energie duurder is dan fossiele (zie paragraaf 8.3.2).

Dit indirecte effect geeft dus een extra CO₂-reductie boven op het rechtstreekse effect. Volgens onze berekeningen leidt een verhoging van het aandeel schone energie van 1% tot een CO₂-reductie van 1,4%. Een "winst" van 40%¹¹⁷.

8.3.4 **Vaste kosten van energiefuncties**

Een laatste type sturing is die via de vaste kosten van energiefuncties, dat bijvoorbeeld op de volgende drie wijzen kan worden vormgegeven:

1 *Verhoging van de vaste kosten van energiefuncties.*

De vaste kosten kunnen worden verhoogd via een heffing of belasting op de aanschaf van apparaten, zoals bijvoorbeeld de motorrijtuigenbelasting. Hierdoor wordt de aanschaf van de energiefuncties die in kosten worden verhoogd minder aantrekkelijk, ten gunste van energie-extensieve bestedingen. De penetratie van energie-intensieve functies kan hierdoor worden afgeremd.

2 *Differentiatie van de vaste kosten*

Differentiatie van de vaste kosten kan bijvoorbeeld worden gerealiseerd door een premie op de aanschaf van energie-efficiënte apparaten te leggen, en een boete op minder energiezuinige typen van hetzelfde apparaat. De aanschaf van de eerste wordt hierdoor aangemoedigd, de aanschaf van de tweede ontmoedigd. Deze aanpak lijkt op subsidiering maar heeft een andere uitwerking, omdat energiezuinige apparaten niet in prijs worden verlaagd: het prijsmechanisme (een toename van de vraag door de lagere aanschafkosten) treedt niet op.

3 *Regulerende normstelling*

Een verhoging van de vaste kosten kan een gevolg zijn van stringente regulerende normstelling. De kosten van de maatregelen die nodig zijn om aan de normen te voldoen, zullen (gedeeltelijk) worden doorberekend in de prijs van het product. Ook hiervoor is een voorbeeld te vinden

¹¹⁷ Transparantie van energiekosten kan deze meekoppeling versterken.

in de autosector. Ook hier zullen hogere vaste kosten leiden tot een vertraagde penetratie van deze energiefuncties.

Uit de formule in paragraaf 4.7 is de omvang van het effect rechtstreeks af te lezen aan de coëfficiënt van de vaste kosten ($Q_{\text{vast,aut}}$): bij een verhoging van de vaste kosten met 1%, neemt de vraag naar energiedragers af met 0,17%.

8.3.5 Samenvatting van de effecten van beleidsrichtingen

Welke conclusies kunnen we op grond van het bovenstaande trekken over sturing om CO₂-emissies in absolute zin te reduceren?

Ten eerste blijkt dat *een extra energiebesparing gerealiseerd wordt bij energiebeleid waarbij de kostprijs van energiefuncties stijgt.*

Dit kan worden gerealiseerd via beleid dat gericht is op de prijs van energie, maar ook door beleid dat dure efficiency uitlokt of aanstuurt op de inzet van dure schone energie.

Uit de studie blijkt dat huishoudens op andere aspecten van de kostprijs reageren dan andere sectoren, hetgeen implicaties kan hebben voor beleid.

Huishoudens

Het elektriciteitsgebruik van huishoudens is blijkens deze studie erg gevoelig voor de vaste kosten bij de *aanschaf*. Mogelijkheden om hier met beleid op aan te sluiten, zijn:

- differentiatie van de aanschafkosten (premie op energiezuinige, boete op niet-energiezuinige apparatuur), waardoor de penetratiesnelheid van elektrische apparaten wordt afgeremd;
- regulerende normstelling voor apparaten, waardoor deze energiezuiniger, maar ook duurder worden.

De huishoudens zijn relatief ongevoelig voor de *energiekosten*. We vermoeden dat hierbij meespeelt dat deze kosten *intransparant* zijn voor de huishoudens, en gevoeld worden als van weinig importantie. Mogelijkheden om de transparantie te vergroten zijn bijvoorbeeld verbruiksmeters op apparaten, energierekeningen over kortere termijnen, afschaffing van collectieve betaling bij blokverwarming, uitbreiding van de voorlichting over de REB en duidelijk separaat factureren van de REB. Het vergroten van de transparantie bij *afnemende* energiekosten kan overigens de *negatieve* terugkoppeling versterken: duidelijkheid over de geringe energiekosten die ook nog eens afnemen, kunnen juist leiden tot méér gebruik van energiefuncties, en dus van het energiegebruik.

Onder de voorwaarde dat energiekosten transparant zijn, kan de kostprijs van energiefuncties ook via de variabele kosten worden verhoogd:

- verhoging van de energieprijzen voor eindgebruikers;
- de inzet van schone, (liefst) duurdere energie.

Overige sectoren

In het bedrijfsleven en ook bij de overheidsdiensten wordt rationeler omgaan met kosten. Variabele kosten worden veel meer dan bij huishoudens a priori gecalculiseerd en in de rentabiliteitsberekeningen meegenomen. De vaste kosten worden afgeschreven over een bepaalde termijn, waardoor men deze als jaarlijkse kosten ziet en niet, zoals in huishoudens, als kosten bij aanschaf. Omdat sturing via de vaste kosten wellicht lastig is, biedt sturing via de energiekosten in deze sectoren goede mogelijkheden om daling van de vaste kosten te compenseren. Het verhogen van de energieprijzen en

de inzet van dure schone energie stimuleren de energie-efficiency en remmen het functiegebruik (enigszins) af.

Het feit dat energiekosten in de *totale* kosten in veel gevallen slechts een kleine rol spelen, is echter een belemmering voor deze wijze van sturing. Zonder een zekere importantie van de energiekosten ten opzichte van de overige kosten, heeft een verhoging van energiekosten immers nauwelijks effect op de kostprijs.

8.4 Sturing naar duurzame CO₂-emissies

In deze paragraaf geven we aan welke inspanningen er, indicatief, nodig zijn voor het klimaatbeleid op langere termijn. Om een bandbreedte aan te geven voor de komende halve eeuw, hebben we in paragraaf 8.2 twee fictieve doelstellingen geformuleerd:

- stabilisatie van CO₂-emissies in 2020 op het niveau van 2000;
- reductie van CO₂-emissies met 40% in 2050 ten opzichte van 2000.

We definiëren in paragraaf 8.4.1 een referentie die aansluit bij de ontwikkelingen in de periode 1982-1997. Daarnaast kijken we tevens welk effect de voorgenomen beleidsdoelstellingen globaal zullen hebben op de CO₂-emissies (waarbij, nogmaals, de resultaten een globale inschatting zijn).

Met behulp van het theoretisch model schatten we vervolgens in welke beleidsinspanningen er, *bovenop deze referentie*, nodig zijn om de fictieve doelstellingen te realiseren. Hierbij geven we aan wat de omvang is van de tegen- en meekoppelingen van de verschillende beleidsrichtingen. In paragraaf 8.4.2 wordt dit besproken voor de fictieve doelstelling om CO₂-emissies te stabiliseren, in paragraaf 8.4.3 voor de doelstelling om CO₂-emissies in absolute zin te reduceren.

8.4.1 Referentie

In dit hoofdstuk onderzoeken we de benodigde inspanning om de fictieve doelstellingen te realiseren. Dit doen we ten opzichte van een referentie waarin we een 'business-as-usual' veronderstellen. De aannamen voor deze referentie zijn grotendeels gebaseerd op de ontwikkelingen zoals deze plaats hebben gevonden in de periode 1982-1997. We gaan er dus vanuit dat de beleidsinspanningen die tot de resultaten in het verleden hebben geleid, in ieder geval in dezelfde intensiteit worden voortgezet. Er wordt bekeken welke inspanning *hier bovenop* nodig is voor een stabilisatie van CO₂-emissies. In de referentie zijn de volgende aannamen gedaan:

- *Efficiencyverbetering*
Doorgaande efficiencyverbetering (per eenheid energiefunctie) met 1,8% per jaar.
- *Prijs van energie voor eindgebruikers*
De overheid heeft de afgelopen decennia in toenemende mate beleid ingezet waarbij via milieuheffingen de prijs van fossiele energie is verhoogd. We gaan er in de referentie vanuit dat ook in de toekomst dit beleid wordt voortgezet, ongeveer in het huidige tempo. Daartoe doen we de volgende veronderstellingen:
 - de overheid zorgt (via milieuheffingen e.d.) dat de energieprijzen voor eindgebruikers in reële termen ongeveer gelijk blijft;
 - dit beleid compenseert een veronderstelde prijsdaling van kale fossiele energie met -1,5% per jaar;
 - het compenseert een veronderstelde prijsdaling van schone energie van -1% per jaar.

We laten hier het effect van liberalisering buiten beschouwing. Het is te verwachten dat dit een verlaging van de energieprijzen tot gevolg heeft, hetgeen impliceert dat de beleidsinspanningen om het effect hiervan op het energiegebruik te compenseren groter moeten zijn dan in de hierna volgende paragrafen gepresenteerd is.

- *Autonome ontwikkeling van de vaste kosten*
De ontwikkeling van de vaste kosten op macroniveau was moeilijk te bepalen voor de periode 1982-1997. Ook ontbreken gegevens om een verwachting uit te spreken over de toekomst. We gebruiken daarom als referentie de voorzichtige aanname die we voor de zichtperiode in het verleden ook hebben gehanteerd: -1% per jaar.
- *Ontwikkeling van schone energie*
In het afgelopen decennium is het aandeel van duurzame energie in de energievoorziening met circa 1% in 10 jaar toegenomen. We veronderstellen dat dit tempo ook voor de komende tijd als referentie geldt.

Een overzicht van de aannamen staat in Tabel 10.

Tabel 10 Overzicht van de aannamen voor de referentie

| | Aanname voor de gemiddelde mutatie (in % per jaar) |
|---|--|
| Efficiency (energie per functie-eenheid) | -1,8 |
| Reële prijs van energie voor eindgebruikers | 0 |
| Autonome ontwikkeling vaste kosten | -1 |
| Schone energie (% van energievoorziening) | van 1,5% in 2000 +1% in 10 jaar |
| CO ₂ -emissies | +1,2% per jaar |

Onder de bovengenoemde aannamen nemen de CO₂-emissies met gemiddeld circa 1,2% per jaar toe. Ter vergelijking: de huidige toename van het energiegebruik bedraagt 1,5% per jaar. We concluderen dat (onder bovenstaande aannamen en berekend met de modellering uit deze studie) aanvullende maatregelen nodig zijn om de fictieve doelstellingen voor de emissies van CO₂ naderbij te brengen.

In het beleid voor de komende jaren is een versnelling van het tempo van de reductie van CO₂-emissies voorzien ten opzichte van het tempo over de zichtperiode. Wanneer de onderstaande aannamen gelden (Tabel 11), blijkt een stabilisatie van CO₂-emissies in zicht te zijn.

Tabel 11 Overzicht van de beleidsvoornemens (globaal)

| | Aanname voor de gemiddelde mutatie (in % per jaar) |
|---|--|
| Efficiency | -1,8 |
| Reële prijs van energie voor eindgebruikers | 0 |
| Autonome ontwikkeling vaste kosten | -1 |
| Schone energie (% van energievoorziening) | van 1,5% in 2000 tot 10% in 2010 (+8,5% in 10 jaar) |
| CO ₂ -emissies | ruim 0,2 % per jaar |

We nemen aan dat de verbetering van de efficiency doorgaat in het huidige tempo, namelijk met -1,8% per jaar. Verder veronderstellen we ook hier dat de overheid de ontwikkelingen van de liberalisering compenseert door beleid

waardoor de reële prijs constant blijft¹¹⁸. Voor duurzame of schone energie tenslotte is de beleidsdoelstelling overgenomen: 10% van de energievoorziening in 2010¹¹⁹. Dit beleidspakket resulteert globaal in een zeer lichte stijging van het energiegebruik, en de daarmee samenhangende CO₂-emissies.

Wanneer de energieprijzen als gevolg van de liberalisatie zal dalen met circa 0,5% per jaar (in plaats van in reële termen constant te blijven), zullen de CO₂-emissies met ongeveer 0,2%-punt toe nemen tot circa 0,4% per jaar.

8.4.2 In welke mate helpt het prijsmechanisme bij *stabilisatie* van emissies?

Wanneer emissiereductie wordt voortgezet in het tempo zoals dat in de afgelopen twee decennia heeft plaatsgevonden, zullen CO₂-emissies in absolute zin waarschijnlijk blijven stijgen. Het realiseren van huidige beleidsdoelstellingen, met name die voor duurzame energie, zal een stabilisatie van emissies dichtbij brengen. In deze paragraaf staat de vraag centraal in welke mate de (theoretische) mogelijkheden om CO₂-emissies in absolute zin te stabiliseren, gehinderd of geholpen worden door het prijsmechanisme. Hierbij gaan we uit van de referentie waarbij de ontwikkeling doorgaat zoals in de afgelopen decennia.

In Tabel 12 wordt een overzicht gegeven van de globale inspanningen per beleidstype die nodig zijn om over de periode 2000-2020 de CO₂-emissies in absolute zin te stabiliseren. In de vorige paragraaf hebben we gezien dat de CO₂-emissies met 1,2% per jaar zullen stijgen als deze zich net zo ontwikkelen als in de periode 1982-1997. Dit betekent dat er in 2020 ruim 20% méér CO₂-emissies geëmitteerd zullen worden als op dit moment. Om over 20 jaar een stabilisatie van de CO₂-emissies te realiseren op het huidige niveau, is het dus nodig extra beleid in te zetten dat voorkomt dat deze 20% wordt uitgestoten. Dit is het uitgangspunt voor deze paragraaf. In Tabel 12 is het effect weergegeven van beleid *boven op de referentie*. We presenteren drie typen beleid: beleid dat (boven op de referentie) het accent legt op de verbetering van de efficiency, beleid dat het accent legt op het verhogen van de energieprijzen en tenslotte beleid met een accent op de inzet van schone energie.

¹¹⁸ Inclusief het prijsverhogend effect van de verhoogde inzet van schone energie.

¹¹⁹ Waarbij we veronderstellen dat dit ook schone energie mag zijn (de aanvangsprijs van schone energie is gehanteerd).

Tabel 12 Globale inspanningen die, boven op de referentie, in de periode 2000-2020 nodig zijn om de CO₂-emissies in 2020 te stabiliseren, en de rol van de verschillende mechanismen

| | | Inspanningen boven op de referentie, nodig voor stabilisatie van CO ₂ -emissie in 2020 | | |
|--|---------------|---|--|----------------------|
| <i>Beleid</i> | Referentie | Efficiencybeleid | Energieprijsbeleid | Schone energiebeleid |
| Efficiency | -1,8% pj | -1,7% pj | - | - |
| Reële prijs energie | blijft gelijk | - | 1,3 keer huidige prijs fossiel in 2020 | - |
| Vaste kosten | -1% pj | - | - | - |
| Schone energie | 2% in 2020 | - | 15% in 2020 | 19% in 2020 |
| CO ₂ -emissie | +1,2% pj | stabilisatie | stabilisatie | stabilisatie |
| <i>Mechanismen</i> | | Bijdrage van de verschillende mechanismen aan de realisatie van stabilisatie in 2020 | | |
| Efficiency-effect | | 109% | 23% | 5% |
| Effect van schone energie | | | 63% | 90% |
| Prijseffect (via de kostprijs van energiefuncties) | | -9% | 14% | 5% |
| Totaal | | 100% | 100% | 100% |

Hierna volgt een toelichting per beleidstype.

Beleid met accent op efficiency

In het verleden heeft efficiencyverbetering de groei van het energiegebruik niet kunnen compenseren, zelfs niet ten tijde van de energiecrises begin jaren tachtig. Volgens onderzoekers is de energie-efficiency die toen gerealiseerd werd, het maximum dat met efficiencybeleid in geïndustrialiseerde landen kan worden bereikt¹²⁰.

Om in 2020 een stabilisatie van de CO₂-emissies te realiseren is beleid nodig dat het huidige tempo van efficiencyverbetering ongeveer verdubbelt (totaal circa 3,5% per jaar). Gegeven de ervaringen in het verleden, zou een dergelijke efficiencyverbetering alleen met een bijzonder krachtig, en nooit eerder vertoond overheidsbeleid kunnen worden gerealiseerd. Een dergelijk beleid zal echter wellicht gepaard gaan met kapitaalvernietiging doordat installaties versneld moeten worden vervangen. Het zou in dat geval goedkoper zijn om op andere wijze CO₂-emissies te reduceren dan met het verder opvoeren van de efficiency.

De inspanning voor stabilisatie is groter dan men op basis van de directe effecten zou verwachten. Voor een stabilisatie van de CO₂-emissies is, zoals uit Tabel 12 blijkt, een extra beleidsinspanning nodig van circa 10%. Het effect van deze inspanning lekt weg via het prijseffect (door de efficiencyverbetering worden energiefuncties goedkoper, waardoor men er meer van gaat gebruiken)

¹²⁰ Van der Sluijs en Turkenburg, 1998.

Beleid dat stuurt op een verhoging van de energieprijis

Een tweede mogelijkheid om stabilisatie van CO₂-emissies te bereiken is via beleid met een accent op het verhogen van de energieprijis in plaats van via efficiencyverbetering. Het effect van een hogere energieprijis van eindgebruikers is (zie Tabel 12):

- extra efficiencyverbetering (maatregelen worden rendabeler). De bijdragen van dit effect aan de totale emissiereductie bedraagt ruim 20%;
- extra schone energie (ook dit wordt bij een hogere fossiele energieprijis rendabeler). Bij een verhoging van de prijs voor eindgebruikers tot ongeveer 1,3 keer de huidige prijs van fossiel, lijkt het globaal rendabel om de rest van de benodigde inspanningen met behulp van schone energie te realiseren. De inzet van schone energie zal hierdoor oplopen tot in 2020 in totaal in circa 17% van de energievraag wordt voorzien met behulp van schone energie, waarvan 15% het effect is van het extra ingezette beleid¹²¹;
- substitutie door energie-extensievere functies. Bij dit beleidstype helpt het prijseffect: 14% van de CO₂-emissies worden gerealiseerd door de meekoppelingen doordat de kostprijs van de energiefuncties stijgt.

Hierbij plaatsen wij een kanttekening over de veronderstelde prijselasticiteit. We gaan uit van een energieprijiselasticiteit van $-0,4$: elke procentuele verhoging van de energieprijis resulteert in een verlaging van het functie- en energiegebruik met $-0,4\%$. Deze elasticiteit is echter bepaald op basis van de lage energieprijzen van de afgelopen decennia. Het is zeer waarschijnlijk dat de reactie van eindgebruikers op de prijs van energie verandert wanneer deze sterk stijgt. Met andere woorden: de elasticiteit hebben we statisch verondersteld, maar deze zal naar alle waarschijnlijkheid als gevolg van hogere energieprijzen stijgen waardoor een minder grote prijsstijging nodig zal zijn om hetzelfde effect te realiseren.

Inzet van schone energie

Een derde (theoretische) mogelijkheid om stabilisatie van CO₂-emissies te realiseren is met beleid gericht op de inzet van schone energie. Hierdoor is met een groei van het aandeel schone energie tot ruim 20% in 2020 stabilisatie van CO₂-emissies mogelijk. Dit is 19% meer dan in de referentie is voorzien, hetgeen betekent dat het tempo zoals dat is voorgenomen in het huidige beleid (10% duurzaam in 2010), bij voortgang ook na 2010 ongeveer voldoende is om stabilisatie te realiseren. Schone energie is overigens wel goedkoper dan duurzame energie, zodat de inzet van schone energie met minder kosten gepaard gaat dan wanneer dit alleen met duurzame energie zou zijn¹²².

Naast het directe effect op de CO₂-emissies vanwege het CO₂-arme karakter van dit type energie, wordt ook dit beleidstype geholpen door meekoppelingen: doordat de kostprijs van energiefuncties toeneemt is er 5% extra CO₂-reductie door een verminderde vraag naar energiefuncties, en 5% extra efficiencyverbetering. Ook hier treedt geen welvaartsverlies op ten opzichte van de referentie (zie Tabel 12).

¹²¹ Onder de veronderstelling dat de huidige prijs van schone energie 2 keer die van fossiele energie bedraagt, en deze prijs met 1% per jaar zal dalen.

¹²² Op dit moment is *schone fossiele* energie circa 10% duurder dan hetzelfde type fossiele energie. De prijs van *duurzame elektriciteit* is ongeveer 1,5 tot 9 keer de prijs van fossiele energie (Bron: Roos, e.a., 1998). Bij onze berekeningen hebben we verondersteld dat de huidige prijs van schone energie 2 keer de prijs van fossiel is, en dat deze prijs met 1% per jaar daalt.

8.4.3 In welke mate helpt het prijsmechanisme bij *reductie* van emissies?

In deze paragraaf onderzoeken we een absolute reductie van CO₂-emissies in de komende vijftig jaar. Ook nu wordt de vraag beantwoord in welke mate de (theoretische) beleidsrichtingen gehinderd of geholpen worden door het prijsmechanisme. Hierbij gaan we, net als in de voorgaande paragraaf, uit van de referentie waarbij de ontwikkeling doorgaat zoals in de afgelopen decennia.

In Tabel 13 wordt een overzicht gegeven van de globale inspanningen per beleidstype die nodig zijn om over de periode 2000-2050 de CO₂-emissies in absolute zin met 40% te reduceren. Dit zijn de inspanningen *boven op de referentie*. In Tabel 13 is het effect weergegeven van het ingezette beleid. Van elk beleidstype is aangegeven door welke mechanismen de beoogde reductie gerealiseerd wordt.

Tabel 13 Globale inspanningen die, boven op de referentie, in de periode 2000-2050 nodig zijn om de CO₂-emissies in deze periode met 40% te reduceren, en de rol van de verschillende mechanismen hierbij.

| | | Inspanningen boven op de referentie, nodig voor een reductie van CO ₂ -emissies in 2050 met 40% t.o.v. 2000 | | |
|--|---------------|--|--|----------------------|
| <i>Beleid</i> | Referentie | Efficiencybeleid | Energieprijsbeleid | Schone energiebeleid |
| Efficiency | -1,8% pj | 2,2% pj | - | - |
| Reële prijs energie | blijft gelijk | - | 2,2 keer huidige prijs fossiel in 2050 | - |
| Vaste kosten | -1% pj | - | - | - |
| Schone energie | 75% in 2050 | - | 50% in 2050 | ruim 60% in 2050 |
| CO ₂ -emissies | +1,2% pj | -40% in 2050 | -40% in 2050 | -40% in 2050 |
| <i>Mechanismen</i> | | Bijdrage van de verschillende mechanismen aan de realisatie van 40% CO ₂ -emissiereductie in 2050 t.o.v. 2000 | | |
| Efficiency-effect | | 98% | 18% | 3% |
| Effect van schone energie | | 0 | 74% | 95% |
| Prijseffect (via de kostprijs van energiefuncties) | | 2% | 8% | 2% |
| Totaal | | 100% | 100% | 100% |

Hierna volgt een toelichting per beleidstype.

Beleid met accent op efficiency

Om in 2040 een reductie van de CO₂-emissies met 40% ten opzichte van 2000 te realiseren is beleid nodig dat het huidige tempo van efficiencyverbetering ruim verdubbelt (4% per jaar).

Over deze lange zichtperiode treedt ook bij efficiencybeleid een meekoppeling op omdat het effect van het beleid via de vaste kosten uiteindelijk zwaarder weegt dan dat via de variabele kosten¹²³. Dit is in Tabel 13 te zien omdat 2% van de benodigde reductie via het prijseffect wordt gerealiseerd.

Beleid dat stuurt op een verhoging van de energieprijis

Wanneer de energieprijis voor eindgebruikers verhoogd wordt, zal het gebruik van schone energie rendabeler worden. Bij een verhoging van de eindgebruikersprijs van fossiele energie tot 4 keer de huidige prijs in 2050, en een inzet van schone energie tot in totaal 60% van de energievoorziening in 2050, is de reële prijs van energie per saldo ruim 2 keer duurder dan in 2000.

Bij dit beleidstype helpt het prijseffect: 8% wordt gerealiseerd door de meekoppelingen doordat de kostprijs van de energiefuncties stijgt, en er is een extra efficiencyeffect van 18%. Tezamen zorgen de meekoppelingen dus voor 25% van de CO₂-reductie.

Ook hier is de kanttekening over de veronderstelde prijselasticiteit op zijn plaats. Zie de bespreking van beleid gericht op het verhogen van de energieprijis in de voorgaande paragraaf.

Verplichte inzet van schone energie

Met een groei van het aandeel schone energie tot circa 70% in 2050 is een reductie van 40% van CO₂-emissies mogelijk. In de referentie is uitgegaan van een groei van het aandeel schone energie met 7,5%.

Ook dit beleidstype wordt (hoewel minder dan bij de verhoging van de energieprijis het geval is) geholpen door meekoppelingen: 3% extra efficiencyverbetering en 2% extra CO₂-reductie doordat de kostprijs van energiefuncties toeneemt. Tezamen zorgen de meekoppelingen dus voor circa 5% van de beoogde CO₂-reductie.

8.5 Conclusies

De conclusie die uit het bovenstaande getrokken kan worden, is de volgende. Bij doorgaande ontwikkelingen zoals die tussen 1982 en 1997 hebben plaatsgevonden, zullen CO₂-emissies in absolute zin blijven groeien. De vraag in deze paragraaf was welke sturingsmogelijkheden (op hoofdlijnen) stabilisatie of reductie van CO₂-emissies zouden kunnen realiseren, waarbij de mechanismen het beleid zo veel als mogelijk ondersteunen. Een *verhoging van de kostprijs van energiefuncties* biedt in het licht van deze studie het voordeel dat dit meekoppelingen geeft: een extra CO₂-reductie die op grond van de directe effecten niet verwacht wordt. Een kostprijsverhoging kan gerealiseerd worden door (1) de energieprijis rechtstreeks te verhogen en (2) door deze indirect te verhogen via de inzet van schone energie of door het uitlokken van dure efficiencymaatregelen. Circa 10 tot 40% van de benodigde reductie kan het gevolg zijn van de meekoppelingen¹²⁴.

¹²³ In 2050 zou volgens het model circa 80% van de totale kostprijs uit vaste kosten bestaan, terwijl dat in 2000 rond 50% ligt. Dit komt doordat we veronderstellen dat het prijsverschil tussen efficiënte apparatuur en 'gewone' een factor 0,15 is. Bij sterk op efficiency gericht beleid is het ook mogelijk dat dit prijsverschil kleiner wordt. Het prijsverschil blijkt ongeveer nihil te zijn wanneer we veronderstellen dat het prijsverschil een factor 0,1 is, en bij een verdere verlaging tot 0,05 treedt een tegenkoppeling op.

¹²⁴ De meekoppeling van prijsbeleid is tevens het beoogde effect.

Efficiencyverbetering roeit momenteel tegen de stroom in: het functiegebruik groeit sneller, mogelijk gemaakt door de jaarlijkse inkomensstijging en door de daling van de kostprijs van energiefuncties. Ook tijdens de energiecrises heeft het de groei van het energiegebruik niet kunnen stuiten.

Bij doorgaande ontwikkelingen zoals deze zich hebben voorgedaan in de afgelopen twee decennia, kan alleen met een krachtig, nog niet eerder vertoond overheidsbeleid gericht op *efficiencyverbetering* (boven op het huidige beleid) een stabilisatie van CO₂-emissies worden gerealiseerd in de komende 20 jaar. Het tempo van efficiencyverbetering zou ongeveer moeten verdubbelen. Voor een absolute reductie van CO₂-emissies is een nog grotere inspanning noodzakelijk.

Een dergelijke hoge mate van efficiencyontwikkeling brengt kapitaalvernietiging en hoge kosten met zich mee. Bovendien lekt een gedeelte (circa 20%) van de beleidsinspanningen weg door de tegenkoppelingen via het prijsmechanisme.

Het voorgenomen beleid om in een substantieel gedeelte van de energievraag met *schone energie* te voorzien, brengt stabilisatie van CO₂-emissies nabij. Dit zou gerealiseerd kunnen worden door een (verplichte) inzet van schone energie (tot circa 20% in 2020) of door een verhoging van de energieprijzen in combinatie met maatregelen die schone energie stimuleren (15% verplichte schone energie en verhoging van de energieprijzen tot 1,3 keer de huidige prijs in 2020). In beide gevallen wordt het beleid geholpen door het prijsmechanisme omdat de kostprijs van energiefuncties als gevolg van het beleid toeneemt.

Een absolute reductie van emissies vergt een grotere beleidsinspanning, waarbij beleidstypen die leiden tot een kostprijsverhoging van energiefuncties, geholpen worden door meekoppelingen die globaal voor 5 tot 25% van het beoogde effect zorgen.



9 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk staan de conclusies verwoord van het onderzoek (paragraaf 9.1). Verder worden in paragraaf 9.2 aanbevelingen gegeven voor verder onderzoek en in paragraaf 9.3 aandachtspunten voor het energiebeleid.

9.1 Conclusies van het onderzoek

Op klimaatgebied ligt er een uitdaging om de uitstoot van broeikasgassen, waaronder CO₂, te reduceren. Nederland heeft afgesproken in 2012 6% minder broeikasgassen te emitteren dan in 1990. Na 2012 is een verdere absolute reductie waarschijnlijk noodzakelijk. Realisatie is echter nog ver weg: tussen 1990 en 1998 is de CO₂-emissie met 12% gestegen.

Verbetering van de energie-efficiency, het energiegebruik per fysieke of economische eenheid en daarmee een *relatieve* maat voor het energiegebruik, is altijd een belangrijke pijler van het energiebeleid geweest. Een relevante vraag is welk perspectief het sturen op efficiencyverbetering biedt om de *absolute* emissiereductie op termijn nabij te brengen.

Inzicht in de factoren die de groei van het energiegebruik veroorzaken, kan hierop antwoord geven. In deze studie hebben we een uitgebreide zoektocht opgezet naar de mechanismen achter de groei van het energiegebruik. Centraal in de analyse staan zogenoemde *energiefuncties*. Dit zijn de prestaties die met energie geleverd worden om maatschappelijke behoeften te vervullen. Een voorbeeld is verlichting, uit te drukken in het aantal lumenuur, of koeling, uit te drukken in het aantal kubieke meters koelruimte.

Deze invalshoek maakt het mogelijk om te onderzoeken welke rol de prijs van energiefuncties speelt in de groei van het energiegebruik. Naast de energiekosten kunnen de aanschafkosten van apparaten (vaste kosten) worden bekeken als mogelijke verklarende factor.

Onderzoeksvragen en conclusies

Welke rol speelt de prijs van energiefuncties in de groei van het energiegebruik?

Op basis van een analyse op *macro-niveau* zijn de conclusies:

- het goedkoper worden van energiefuncties (een uur licht, een kubieke meter gekoelde ruimte, etc.) leidt tot meer gebruik ervan, en daarmee tot meer energiegebruik;
- circa 30% van de groei van het energiegebruik is een gevolg van de dalende prijs van energiefuncties (periode 1982-1997);
- verbetering van de energie-efficiency leidt, via verlaging van de energiekosten, tot meer energiegebruik. Circa een zesde deel van de inspanningen van efficiencyverbetering worden hierdoor teniet gedaan (reboundeffect).

Op *micro-niveau* is de stijging van het elektriciteitsverbruik van huishoudens geanalyseerd (periode 1987-1997). In hoeverre is dit een gevolg is van het goedkoper worden van de elektrische functies? De conclusies zijn:

- een daling van de (reële) aanschafkosten van apparaten leidt tot meer aankoop, en dus tot meer elektriciteitsverbruik;
- dit is vooral het geval voor zogenoemde 'nieuwe' functies die het afgelopen decennium in steeds meer huishoudens zijn te vinden (bijvoorbeeld

vaatwassen, wasdrogen, licht van spaarlampen). Circa 60-70% van de toegenomen aanschaf wordt door de prijsdaling verklaard. Bij de 'oude' functies (zoals wassen en stofzuigen) is dit effect kleiner;

- er is geen duidelijk verband gevonden tussen de elektriciteitskosten en het *gebruik* van de functies: is een apparaat eenmaal aangeschaft dan vormen de elektriciteitskosten geen drempel om het te gebruiken;
- we vermoeden dat het niet transparant en substantieel zijn van de energiekosten een reden is dat huishoudens relatief ongevoelig zijn voor deze kosten. Dit is van belang voor overheidsbeleid dat via een verhoging van de energieprijz huishoudens wil stimuleren tot energiebesparing.

Welk licht werpt het prijsmechanisme op de verschillende sturingsmogelijkheden voor het realiseren van CO₂-reductie doelstellingen?

Efficiency zorgt ervoor dat er per eenheid functie minder energie wordt gebruikt. Echter, in absolute zin roeit efficiency tegen de stroom in. De groei van de welvaart en de toename van de consumptie hebben de winst die door efficiencyverbeteringen is behaald, deels tenietgedaan.

Hoewel efficiencyverbetering onontbeerlijk is, is het onvoldoende om een absolute reductie van CO₂-emissies naderbij te brengen. Om in 2020 een stabilisatie van de CO₂-emissies te realiseren op het huidige niveau, zou een verdubbeling van het huidige tempo van efficiencyverbetering nodig zijn. Gegeven de ervaringen in het verleden kan alleen een krachtig, nooit eerder vertoond overheidsbeleid een dergelijke prestatie realiseren.

Om een *absolute* reductie van CO₂-emissies te bereiken kan beleid *waarbij de kostprijs van energiefuncties stijgt* een goede aanvulling zijn omdat het extra energiebesparing oplevert. Duurdere energie levert namelijk 'meekoppelingen' op:

- extra efficiencyverbetering;
- substitutie: meer energie-extensieve producten en diensten in de plaats van energie-intensieve;
- iets minder groei van de consumptie en productie.

De overheid kan energiefuncties duurder maken via de aanschafkosten en via de energiekosten.

Mogelijkheden voor de *huishoudens* zijn:

- differentiatie van de aanschafkosten (premie op energiezuinige, boete op niet-energiezuinige apparatuur), waardoor de penetratiesnelheid van elektrische apparaten wordt afgeremd;
- regulerende normstelling voor apparaten, waardoor deze energiezuiniger, maar ook duurder worden;
- verhoging van de energieprijz voor eindgebruikers, *mits de energiekosten transparant zijn*;
- de inzet van schone (duurdere) energie: naast de directe afname van CO₂-emissies wordt efficiency uitgelokt en energie-extensieve activiteiten gestimuleerd.

Voor *andere sectoren*, waar vaste én variabele kosten op rationele wijze worden meegenomen in de beslissing energiefuncties toe te passen, biedt sturing via de energiekosten meer perspectief dan bij de huishoudens:

- verhoging van de energieprijz voor eindgebruikers (via heffingen, accijnzen, en/of verhandelbare emissierechten);
- de inzet van schone (duurdere) energie: hogere energiekosten zijn een stimulans voor efficiencymaatregelen en stimuleren energie-extensieve productie.

Een model op macroniveau (inclusief de kostprijs van energiefuncties) schat de benodigde inspanning in om de Nederlandse CO₂-emissies in 2020 te stabiliseren op het huidige niveau. Dit kan door een combinatie van doorgaande efficiencyverbetering, een toename van circa 1% schone energie per jaar en een verdubbeling van de reële energieprijzen voor eindgebruikers in 2020 ten opzichte van het huidige niveau.

9.2 Aanbevelingen voor onderzoek

In paragraaf 6.6 zijn op grond van de retrospectieve analyse aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek. We geven ze hier in verkorte vorm weer:

Op **macroniveau** geven we de volgende aanbevelingen voor onderzoek:

1 *Analyse bedrijfsleven*

In dit onderzoek hebben we bij huishoudelijke elektrische functies onderzocht of een gedeelte van de groei van het elektriciteitsverbruik mede verklaard wordt door het prijsmechanisme (daling van de kostprijs van energiefuncties). In paragraaf 7.2 is beredeneerd of deze gedachtegang ook voor de industrie zou kunnen opgaan. We hebben geconcludeerd dat dit het geval zou kunnen zijn. Op een aantal punten verschilt het bedrijfsleven echter van huishoudens in de manier waarop zij beslissen over de aanschaf van apparaten en installaties. Zo wordt er in het bedrijfsleven rationeler gecalculleerd, hetgeen zou kunnen betekenen dat een prijsmechanisme werkzaam is. Anderzijds zijn er behalve investerings- en energiekosten andere kosten die de prijs van energiefuncties mede bepalen. Verder werkt een kostprijzdaling waarschijnlijk indirect door omdat verschillende delen van het productieproces onderling verweven zijn. Deze beide laatste punten kunnen een prijsmechanisme nuanceren.

Op grond van het bovenstaande lijkt het ons zinvol om een analyse zoals uitgevoerd voor de huishoudens, uit te voeren voor energiefuncties in het bedrijfsleven. Dit met het doel om te onderzoeken of er sprake is van een prijsmechanisme, en welke aangrijpingspunten voor het beleid daaruit volgen.

2 *Prijselasticiteit van het energiegebruik*

- De prijselasticiteit van het energiegebruik is een belangrijke factor die het effect van prijsbeleid via de energieprijzen bepaalt. In de onderzoeken naar de elasticiteit worden niet altijd de drie effecten (technische besparing, gedrag, functievraagvermindering) onderscheiden en meegenomen. Hierdoor zijn de elasticiteiten uit verschillende onderzoeken onderling niet goed te vergelijken. Ook betekent het dat de elasticiteit soms wordt onderschat omdat effecten niet worden meegenomen. We geven de aanbeveling om in onderzoek naar prijselasticiteiten dit onderscheid helder naar voren te laten komen.
- De prijselasticiteit is niet statisch maar afhankelijk van verschillende factoren zoals de prijs van energie, lange en korte termijn en het feit of het gaat om een prijzdaling of –verhoging. Er zijn weinig gegevens bekend over de effecten van deze factoren op de elasticiteit. Gezien het feit dat een begin is gemaakt met de energieprijzen als aangrijpingspunt in het energiebeleid (REB), zou onderzoek naar deze effecten het beleid kunnen ondersteunen.

3 *Ontwikkeling van de vaste kosten van energiefuncties*

Ter ondersteuning van een analyse van het prijseffect op macroniveau zou een monitoring van de prijsontwikkeling van energiegerelateerde investeringen (bijvoorbeeld per sector) behulpzaam zijn.

Hieronder volgen enkele aanbevelingen voor de monitoring van data zodat deze geschikt zouden zijn voor een analyse zoals deze in dit onderzoek op **microniveau** is uitgevoerd.

- 1 Een ruwe inschatting van de ontwikkeling van het functiegebruik kan behulpzaam zijn bij de vormgeving van het energiebeleid voor huishoudens. Hiervoor zijn minimaal gegevens over het energiegebruik en de efficiencyverbetering nodig (immers: het verschil daartussen wordt verklaard door het functiegebruik). Mogelijke punten van verbetering zijn:
 - Het is aan te bevelen om in de monitoring van het *energiegebruik* in BEK resultaten van recente onderzoeken te verwerken zodat er geen onderschatting plaatsvindt, met name bij 'nieuwe' functies. De gegevens van BEK over de ontwikkeling van het *elektriciteitsverbruik* van met name de 'nieuwe' functies blijken te berusten op zeer voorzichtige inschattingen. Gegevens uit beschikbare onderzoeken over de gebruiksfrequentie, belading en dergelijke waren hierin niet meegenomen. Dit geeft een onderschatting van het energiegebruik van deze functies.
 - Gegevens over verlichting zijn de laatste jaren sterk verbeterd. Wanneer deze monitoring een langere periode wordt uitgevoerd (eventueel met tussenpozen), kan op basis daarvan een betere detailanalyse uitgevoerd worden.
 - De gegevens over de *efficiencyverbetering* op microniveau waren relatief beperkt. Een consistente monitoring over een langere periode zou behulpzaam zijn¹²⁵.
- 2 Naast de penetratie van apparaten zou de monitoring van enkele *aanvullende (gebruiks)variabelen* helpen om het functiegebruik beter in kaart te brengen. Voorbeelden zijn:
 - de gebruiksfrequentie van apparaten (ook de gebruikstijd per lamp valt hieronder);
 - het vermogen van apparaten;
 - de beladingsgraad.
- 3 Meer inzicht in de *kostprijsontwikkeling* van met name 'nieuwe' functies (en dan met name van de vaste kosten) zou het inzicht in het prijsmechanisme kunnen ondersteunen.

9.3 Aandachtspunten voor het energiebeleid

Benadering via energiefuncties

Dit onderzoek heeft aangetoond dat de kostprijs van energiefuncties invloed heeft op het gebruik ervan, en daarmee op het energiegebruik. Voor het energiebeleid lijkt het nuttig om de huidige monitoring van gegevens aan te vullen met een aantal aandachtspunten gericht op de kostprijs en het functiegebruik (zie paragraaf 9.2)

Transparantie van energiekosten

Het feit dat de kostprijs van energiefuncties een rol speelt in de toename van het energiegebruik, betekent dat het beleid de mogelijkheid heeft via deze prijs het energiegebruik te sturen. Een voorwaarde hierbij is dat de kostprijs transparant en van enige importantie is voor de eindgebruiker. Met name voor huishoudens/consumenten zijn de energiekosten intransparant. Een voorwaarde voor beleid via de prijs van energie is, dat de eindgebruiker inzicht heeft in de energiekosten. De volgende aanbevelingen zijn gedaan om deze transparantie te verhogen (paragraaf 8.3.5):

¹²⁵ Aandachtspunt hierbij is het verschil tussen de monitoring van het energiegebruik van *nieuwe* apparaten en die van het *gemiddelde* aanwezige 'park' in huishoudens.

- verdere introductie van energielabels met indicatie van kostenconsequenties bij alle energie-intensieve functies, ook bijvoorbeeld bij auto's;
- introductie van verbruiksmeters, eventueel uitgerust met kostencalculatie, op apparaten met een grote energiebehoefte;
- uitgebreidere voorlichting over de REB en over mogelijke maatregelen om erop te kunnen anticiperen;
- presentatie van energierekeningen over kortere termijnen, bijvoorbeeld per maand, zodat er meer terugkoppeling is van het gedrag;
- afschaffing van collectieve betaling voor energiefuncties, bijvoorbeeld bij blokverwarming;
- blijvende aandacht voor de ontwikkeling van energiediensten.

Het vergroten van de transparantie bij afnemende energiekosten kan overigens de negatieve terugkoppeling versterken: duidelijkheid over de geringe energiekosten en de afname hiervan kunnen juist leiden tot méér gebruik van energiefuncties. Wellicht is transparantie van de lage variabele kosten momenteel één van de redenen die bijdragen aan de snelle groei van de telecommunicatie.





Literatuur

Albers R., K. Blok, A.H. Scholten
Zicht op licht, de betekenis van energiezuinige verlichting voor het huishoudelijk elektriciteitsverbruik
SWOKA, Instituut voor Consumentenonderzoek, Den Haag, 1988

Algemene Energieraad
Advies voorbereiding nota energiebesparing 1998
Den Haag, 1998

Basisonderzoek Aardgasverbruik Kleinverbruikers, BAK '95
EnergieNed, Arnhem, 1996

Basisonderzoek Aardgasverbruik Kleinverbruikers, BAK '97
EnergieNed, Arnhem, 1998

Basisonderzoek elektriciteitsverbruik kleinverbruikers, BEK '86
Vereniging van exploitanten van elektriciteitsbedrijven in Nederland, Arnhem, 1987

Basisonderzoek elektriciteitsverbruik kleinverbruikers, BEK '87
Vereniging van exploitanten van elektriciteitsbedrijven in Nederland, Arnhem, 1988

Basisonderzoek elektriciteitsverbruik kleinverbruikers BEK '88
Vereniging van exploitanten van elektriciteitsbedrijven in Nederland, Arnhem, 1989

Basisonderzoek elektriciteitsverbruik kleinverbruikers, BEK '90
EnergieNed, Arnhem, 1991

Basisonderzoek elektriciteitsverbruik kleinverbruikers BEK '93
EnergieNed
Arnhem 1994

Basisonderzoek Elektriciteitsverbruik Kleinverbruikers, BEK '94
EnergieNed, Arnhem, 1995

Basisonderzoek elektriciteitsverbruik kleinverbruikers BEK '96
EnergieNed
Arnhem 1997

Basisonderzoek Elektriciteitsverbruik Kleinverbruikers BEK '97
EnergieNed, Arnhem, 1998

Berg A.J. v.d., P.A. Boot, M.J. Dykstra, et al.
Van wereldmarkt tot eindverbruiker, Energieprijzen voor de periode tot 2015
Ministerie van Economische Zaken, Den Haag



Berkhout P.H.G., J.W. Velthuisen
Van de weeromstuit, position paper over het rebound effect
SEO Stichting voor Economisch Onderzoek der Universiteit van Amsterdam,
Amsterdam, 1997

Bezinningsgroep Energiebeleid
Klimaatprobleem; Oplossing in zicht
Redactie T. van der Werff
Delft, 2000

Biesiot W., H.C. Moll
Reduction of CO₂-emissions by lifestyle changes
Rijksuniversiteit Groningen, Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieukun-
de, Groningen, 1995

Bleijenberg, A., J. van Swigchem
Efficiency and Sufficiency, towards sustainable energy and transport
CE, Delft, 1997

Bode J.W., E. Worell, P.H.G. Berkhout, et al.
Onderzoek naar effecten van de regulerende energiebelastingen bij be-
drijven, stand van zaken einde 1997

Booij J.T., M.P. Klaassen, H.D. Webbink
Prijselasticiteit van het huishoudelijk energieverbruik
SEO, Stichting voor Economisch Onderzoek der Universiteit van Amster-
dam, Amsterdam 1992

Boonekamp, P.G.M.
Het save-model, de modellering van energieverbruiksoontwikkelingen
ECN, Petten, 1994

Boonekamp P.G.M.
Save-module huishoudens, de modellering van energieverbruiksoontwikkelin-
gen
ECN, Petten, 1995

Boonekamp, P.G.M.
Monitoring energieverbruik 1982-1996; methode, resultaten en perspectie-
ven
ECN, Petten, 1998

Boonekamp, P.G.M., H. Jeeninga
Gedrag en huishoudelijk elektriciteitsverbruik; kwalitatieve en kwantitatieve
analyse 1980-1997; ten bate van Milieubalans RIVM
ECN, Petten, 1999

Boonekamp, P.G.M., H. Jeeninga
Analyse gedragsinvloeden elektriciteitsverbruik huishoudens
ECN, Petten, 1999

Brink, C.
Elektrificatie van huishoudens, bottom-up onderzoek naar een groeiend
elektriciteitsverbruik
Centraal Planbureau, Den Haag, 1997

CBS, 1997
Statistisch jaarboek 1997
Voorburg/Heerlen, CBS, 1997

Centraal Planbureau
Economische gevolgen op lange termijn van heffingen op energie
Den Haag, 1992

Centraal Planbureau
Effecten van een kleinverbruikersheffing op energie bij lage en hoge prijsniveaus
Den Haag, 1993

Centraal Planbureau
Economie en fysieke omgeving; Beleidsopgaven en oplossingsrichtingen 1995-2020
Den Haag, 1997

Centraal Planbureau
Vergroening en Energie: Effecten van verhoogde energieheffingen en gerichte vrijstellingen
Den Haag, 1997

Centraal Planbureau
Centraal economisch plan 1998
Den Haag, 1998

Consumentengids, inzake wasautomaten
augustus 1987, april 1993, januari 1996, oktober 1996, maart 1998

Consumentengids, inzake wasdrogers
oktober 1990, september 1997, januari 1998

Consumentengids, inzake afwasmachines
augustus 1986, november 1989, december 1993, maart 1997

Consumentengids, inzake koelapparatuur
juni 1987 oktober 1987, januari 1988, mei 1988, mei 1989, september 1989, december 1989, juli 1992, september 1992, januari 1993, juni 1994, juni 1996, juni 1997, juli 1998

Consumentengids, inzake verlichting
februari 1996, oktober 1999

Consumentengids, inzake stofzuigers
april 1988, maart 1989, januari 1990, mei 1992, maart 1993, mei 1996, april 1997, april 1998, april 1999

Consumentengids, inzake warm tapwatertoestellen
augustus 1994, augustus 1997

Daamen, D.D.L., G. Hollemans, E.A.C. van Leeuwen
Evaluatie van de energieheffing en energiebesparing; Longitudinaal onderzoek naar de evaluatie van de energieheffing door Nederlandse huishoudens en intenties en gedragingen betreffende gas- en elektriciteitsgebruik; eindrapport over de metingen in mei en november 1996
Ministerie van VROM, Den Haag, 1994



Dam Y.K. van, C. de Hoog, J.A.C. van Ophem
Voeding, consument en duurzaamheid
Landbouwniversiteit Wageningen, werkgroep Consumentengedrag, Wageningen, 1997

Dijk H.M.L. van, P.J.S. Siderius
Gebruiksregistratie van een aantal huishoudelijke apparaten
SWOKA, Instituut voor Consumentenonderzoek, Den Haag, 1992

Dings, ir. J.M.W., ir. D. Metz, drs. B.A. Leurs, ir. A.N. Bleijenberg
Beter aanbod, meer goederenvervoer?
CE, Delft, 1999

Dykstra M.
The efficiency of Dutch electricity generation, an internationale comparison
Centraal Planbureau, Den Haag, 1998

ECN, 1995
Save-Module utiliteitsbouw: De modellering van energieverbruiksontwikkeling
Petten, 1995

ECN, 1998
Gegevens met betrekking tot het nationale energiegebruik en de energiegebruik-intensiteit uit het MONIT-systeem
Petten, 1998

ECN, 1999
Energieverbruik van gebouwgebonden energiefuncties in woningen en utiliteitsgebouwen
Petten, 1999

Elektriciteit in Nederland 1997.
in opdracht van SEP en EnergieNed, Arnhem 1998

Energiebesparingsnota
Ministerie van Economische zaken
Den Haag, 1998

Energiemonitor 1998 (4 delen)
Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen, 1998

Energiemonitor 1999 – IV
Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen, 1999

Energiewijzer inzake wasautomaten
1992-1993, 1997

Energiewijzer inzake wasdrogers
1992-1993, 1997

Energiewijzer inzake afwasmachines
1992-1993, 1997

Energiewijzer inzake koelapparatuur
1992-1993, 1997

- Farla J., K. Blok
Monitoring of sectoral energy efficiency improvements in the Netherlands, 1980- 1994
Universiteit Utrecht, Vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving, 1997
- Fransen, S.
Relaxing the Demand in the MATTER model
ECN, Petten, 1999
- Groenen, W., E. Pommer, M. Ras, J. Blank
Milieueffingen en consument
SCP, Rijswijk 1993
- Groot A. de, J. Muskens, J.W. Velthuisen
De prijselasticiteit van de energievraag, stand van zaken 1998
Amsterdam, 1998
- Groot, W., C. Koopmans
Energiebesparing 1990-1997
Energiemonitor 1998
- Groot H.L.F. de, D.P. van Soest
Investeren onder onzekerheid
Vrije Universiteit, Vakgroep Ruimtelijke Economie ; Katholieke Universiteit Brabant, Vakgroep Algemene Economie
ESB, 1999
- Groot-Marcus A.P., M. van Moll
Textile characteristics, laundering and the environment
Wageningen Agricultural University, Department of household and consumer studies, Wageningen
Journal of consumer studies and home economics, p. 261-273, 1996
- Groot-Marcus J.P., E. Scherhorn
Schone was; een gewichtige zaak
Landbouwniversiteit Wageningen, Vakgroep Huishoudstudies, Wageningen
Huishoudstudies, p. 22-31, 1994
- Groot-Marcus A.P., E. Scherhorn
Energy (in)efficient food storage in households
Wageningen Agricultural University, Household and Consumer Studies, Wageningen
- Ham, E.R. van den
NEEDIS
Climatic Design Consult/ECN, Nijmegen/Petten, 1996
- Hoevenagel, R., U. van Rijn, L. Steg, H. de Wit
Milieurelevant consumentengedrag
SCP, Rijswijk 1996
- Houghton, J.T., G.J. Jenkins and J.J. Ephraums 1996
Climate change: the IPCC Scientific Assessment
Cambridge, 1996



Hufen, H., P. Rekkers, O. Henneken
Experiment elektriciteitsbesparing huishoudens
B&A Groep Beleidsonderzoek & -Advies, Den Haag, 1994

Jeeninga, H.
Analyse energieverbruik sector huishoudens 1982-1996, achtergronddocument bij het rapport 'Monitoring energieverbruik en beleid Nederland'
ECN, Petten, 1997

Jeeninga H., O. van Hilten
Bepaling bandbreedte in de ontwikkeling van het huishoudelijk elektriciteitsverbruik, vervolgonderzoek naar aanleiding van de studie 'Nieuwe apparaten en leefstijl'
ECN, Petten, 1998

Jeeninga, H.
Huishoudelijk elektriciteitsverbruik is moeilijk te beïnvloeden
Petten, 1998

Jeeninga, J., O. van Hilten
Bepaling van een uniforme definitie voor energie efficiëntie, definities van efficiëntieverbetering en energiebesparing in het huishoudelijk energieverbruik
ECN, Petten, juli 1999

Kemna, R.B.J., H. Couvée, C. Vonk
Elektriciteitsverbruik gezinshuishoudens 1985-2000
Van Holsteijn en Kemna, Delft, 1989

Kemna, R.B.J., H. Couvée, C. Vonk
Verlichting in gezinshuishoudens – modelvorming en mogelijkheden voor energiebesparing
Van Holsteijn en Kemna, Delft, 1991

Kemna, R., G. Giunta, M. Groot, W. Li, H.P. Siderius
Epolis VW (Energy policy support VaatWasser)
Van Holsteijn en Kemna BV, Delft, 1999

Klundert dr Th. van de
Grondslagen van de economische analyse
Amsterdam, 1968

Koopmans C., D.W. te Velde
NEMO: Netherlands Energy demand Model, a top-down energy demand model based on bottom-up information
CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, National Institute of Economic and Social Research, The Hague, London, 1997

Koopmans C.C., D.W. te Velde, W. Groot, et al.
NEMO: Netherlands Energy demand Model, a top-down model based on bottom-up information
Centraal Planbureau, Den Haag, 1999

Milieu Centraal, Wasmachine
maart 1999

Milieu Centraal, Wasdrogers
oktober 1998

Milieu Centraal, Koel- en vriesapparaten
september 1999

Milieu Centraal, Verlichting
september 1999

Musters A.P.A.
The energy-economy-environment interaction and the rebound-effect
ECN, Petten, 1994

Nationale Rekeningen 1995 en 1997
Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen, 1996 en 1998
Novem
Wit- en bruingoed; stand van de techniek, 1996
Utrecht, 1996

Novem
Kunstlichtbronnen; stand van de techniek 1996
Utrecht, 1996

Perrels, A.H., H. Jeeninga, P.J.S. Siderius, M.I. Groot
Nieuwe apparaten en leefstijl. Gevolgen voor het huishoudelijk elektriciteits-
verbruik in 2010.
ECN, Petten, 1998

Philips Licht Catalogus 1999/2000
Philips Nederland BV, Eindhoven, 1999

Pronk, drs. M.Y., drs. ing. P.M. Blok
De prijselasticiteit van energieverbruik in het wegverkeer
NEI, Rotterdam, 1991

Rekko, A.H.M.J.
Financiële gevolgen voor huishoudens van regulerende milieuheffingen
Instituut voor consumentenonderzoek (SWOKA), Den Haag. 1993

Roos, J.H.J., F.J. Rooijers
Wegwijzers naar 2050, verkeer en vervoer in de 21^e eeuw; deelstudie ver-
voer en energie, energie in de 21^e eeuw
NV SEP, 1998

Rossum, T.F.M. van, R.F.A. Cuelenaere, K. Blok
Ontwikkelingen in het elektriciteitsverbruik van huishoudens
Universiteit Utrecht, Vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving, Utrecht,
1991

Rossum T.F.M. van, H.C. Wilting
Energiegebruik en huishoudelijke consumptie, case-studies
Universiteit Utrecht, Vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving, Utrecht,
1991

SEO, 1997
Van de weeromstuit
Amsterdam, 1997

Siderius P.J.S., H.M.L. van Dijk
Consumenten en elektriciteitsverbruik grote huishoudelijke apparatuur, Onderzoek naar mogelijkheden om aanschaf- en gebruiksgedrag te beïnvloeden
SWOKA, Instituut voor consumentenonderzoek, Den Haag, 1992

Slob, A.F.L., M.J. Bouman, M. de Haan, K. Blok en K. Vinger, 1996
Trendanalyse Consumptie en Milieu
Ministerie van VROM, Den Haag, 1996

Sluijs, J.P. van der en W.C. Turkenburg
NMP3 Thema Klimaat: een kritische analyse van het probleembeeld, de beleidsdoelstellingen en de maatregelen; rapportage in opdracht van de VROM-raad
VROM-raad, Den Haag, 1998

Statistisch Jaarboek 1997
Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen, 1997

Steg L.
Verspilde Energie? Wat doen en laten Nederlanders voor het milieu
Sociaal en Cultureel Planbureau, Den Haag, 1999

Stichting Vergelijkend Warenonderzoek
Spaarlampen (compacte fluorescentielampen)
Den Haag, 1988

Stichting Vergelijkend Warenonderzoek
Toestellen voor centrale verwarming en warm water, nr. 246
Den Haag, 1988

Stichting Vergelijkend Warenonderzoek
Verwarming en warm water, nr. 267
Den Haag, 1990

Stuurgroep regulerende energieheffingen
Een onderzoek naar de effecten op energiebesparing en de economie
Den Haag, 1992

TNO
Energiegebruik en milieubelasting bij warmtapwaterbereiding: een vergelijkend onderzoek van verschillende warmtapwatersystemen
Apeldoorn, 1992

Uitdenbogerd D.E., N.M. Brouwer, J.P. Groot-Marcus
Domestic energy saving potentials for food and textiles, An empirical study
Landbouwuniversiteit Wageningen, Huishoud- en Consumentenstudies, 1998

Velde, D.W. te
Parameters for NEMO, a bottom-up approach using ICARUS
CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, The Hague, 1997

Velde D.W. te, C. Koopmans
Bridging the energy-efficiency gap; using bottom-up information in a top-down energy model
National Institute of Economic and Social Research, CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, London, The Hague, 1997

Velthuisen J.W.
Determinants of investment in energy conservation
Rijksuniversiteit Groningen, Groningen, 1995

Verhage, B.
Inleiding tot de marketing
Leiden/Antwerpen, 1990

Verwoerd, M., ir. S.M. van der Sluis
Afzetmarkt koelkasten, diepvriezers, wasmachines en wasdrogers 1998
TNO-MEP, Apeldoorn 1999

VEWIN/NIPO, Nederlanders gaan zuiniger met water om
Rijswijk, 1999

VEWIN-Waterleidingstatistiek
1987, 1991, 1995, 1997

Vree, drs. R. de, m.m.v. drs. ir. P.J.S. Siderius
Energiegebruik van kantoorapparatuur 1994-2003: Aanvullende berekeningen bij rapport 'Energiegebruik van kantoorapparatuur 1994-2003 van 09-09-1998'
EIM/Handel & Distributie, Zoetermeer, 1999

Vringer K., K. Blok
The direct and indirect energy requirement of households in the Netherlands
Universiteit Utrecht, Vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving, Utrecht, 1993

Vringer K., K. Blok
Consumption and energy-requirement, a time series for households in the Netherlands from 1948 to 1992
Universiteit Utrecht, Vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving, Utrecht, 1995

Washing Machines, Driers and Dishwashers, final report
Group for Efficient Appliances (GEA) & Working Group – European Energy network (En R)

Wilting H.C., W. Biesiot, H.C. Moll
Economische activiteiten vanuit energetisch perspectief, veranderingen in Nederland in de periode 1969-1988
Rijksuniversiteit Groningen, Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieukunde, Groningen, 1994

Wilting H.C., W. Biesiot, H.C. Moll
EAP Energie Analyse Programma, Handleiding Versie 2.0
Rijksuniversiteit Groningen, Interfacultaire Vakgroep Energie en Milieukunde (IVEM), Groningen, 1995



Winter, R., B. v.d. Haspel, F. Rooijers, J. Verlinden, G. de Wit
Onderzoek naar de prijselasticiteit van een energieheffing in de woningbouw
CE, Delft, 1991