

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

Bijlage A

Modelbeschrijving

Opgesteld door: Arie Bleijenberg
Jessica van Swigchem
Gerrit de Wit (EIM)



Inhoud

1	Modelbeschrijving	1
1.1	Inleiding	1
1.2	Fossiele brandstofverbruik	2
1.3	Gebruik van energiedragers	3
1.4	Efficiency	3
1.5	Energiefunctiegebruik	4
1.6	Kostprijs van energiefuncties	5
1.7	Energieprijs voor eindgebruikers	7
1.8	Mechanismen achter de groei van het gebruik van energiedragers	8
2	Elasticiteiten van het functiegebruik	13
3	Overzicht van formules en parameters	15
3.1	Overzicht modellering	15
3.2	Verklaring van gebruikte parameters	16

1 Modelbeschrijving

1.1 Inleiding

In dit hoofdstuk beschrijven we de modellering van de mechanismen die de groei van het fossiele brandstofverbruik verklaren. De groei van het brandstofverbruik wordt gezien als een functie van de ontwikkeling van de bevolkingsomvang, het inkomen, de efficiency, de prijs van fossiele en schone energie, het aandeel van schone energie in de energievoorziening en de ontwikkeling van de vaste kosten van energiefuncties. Dit kan als volgt worden samengevat:

$$\dot{B}_t = f\left(\dot{J}_t, \dot{Y}_t, \dot{Q}_{\text{vast,aut}}, \dot{N}_t, \dot{D}_t, \dot{P}_{\text{fos,aut}}, \dot{P}_{\text{schoon,aut}}\right)$$

waarbij:

\dot{B}_t : *relatieve verandering van het fossiele brandstofverbruik in jaar t*

\dot{J}_t : *relatieve verandering van de bevolkingsomvang in jaar t*

\dot{Y}_t : *relatieve verandering van het inkomen per persoon in jaar t*

$\dot{Q}_{\text{vast,aut}}$: *relatieve verandering van de vaste kosten van energiefuncties in jaar t*

\dot{N}_t : *relatieve verandering van de energie-efficiency in jaar t (eenheden energiefunctie/Joule)*

\dot{D}_t : *relatieve verandering van het aandeel schone energie in het totale gebruik van energiedragers in jaar t*

$\dot{P}_{\text{fos,aut}}$: *relatieve verandering van de reële eindgebruikersprijs per eenheid fossiele energiedrager*

$\dot{P}_{\text{duurz,aut}}$: *relatieve verandering van de reële eindgebruikersprijs per eenheid schone energiedrager*

De modellering is als volgt opgebouwd.

In paragraaf 1.2 starten we met het fossiele brandstofverbruik. De ontwikkeling hiervan wordt voor een belangrijk deel bepaald door het gebruik van energiedragers door eindgebruikers (paragraaf 1.3). De factoren die hierop invloed hebben, de efficiency en het functiegebruik, worden in de paragrafen 1.4 en 1.5 respectievelijk besproken. De kostprijs wordt in paragraaf 1.6 uitgewerkt, en de energieprijzen voor eindgebruikers in paragraaf 1.7. In paragraaf 1.8 worden de herleide vorm vergelijkingen gepresenteerd. Door substitutie van voorgaande formules wordt toegewerkt naar een eindformule waarin de mechanismen die de groei van het gebruik van energiedragers bepalen, zichtbaar zijn.

Er is gezocht naar de meest eenvoudige wijze om de modellering te presenteren. Er is gekozen voor de vorm waarin de vergelijkingen zich richten op de *relatieve veranderingen ten opzichte van een basisjaar*. Dit wordt weergegeven door een \circ boven de parameters. De relatieve verandering is als volgt gedefinieerd (met het brandstofverbruik B_t als voorbeeld):

$$\overset{\circ}{B}_t = \frac{1}{B_t} \cdot \frac{dB_t}{dt} = \frac{d \ln B_t}{dt}$$

Deze bijlage geeft een beschrijving van de gemodelleerde relaties. Met het model is het volgende gedaan (hetgeen niet in deze bijlage is beschreven, maar in het hoofdrapport). Er is een kwantitatieve invulling gegeven aan het model op basis van een retrospectieve analyse: met behulp van gegevens over de periode 1982-1997. Vervolgens is hiermee een analyse uitgevoerd naar de effecten van mogelijk *toekomstig* energiebeleid op hoofdlijnen. Hiertoe zijn mogelijke beleidsrichtingen vertaald in veronderstelde veranderingen van de autonome variabelen.

1.2 Fossiele brandstofverbruik

De start van de analyse is het fossiele brandstofverbruik: het gedeelte van het energiegebruik waarvan de huidige groei een zorg is voor het energien en milieubeleid. Er zijn verschillende fossiele brandstoffen waarvan steenkool, aardolie en aardgas voor het Nederlands energiegebruik de belangrijkste zijn. Deze worden echter niet altijd in pure vorm door eindgebruikers ingezet: ze worden dan eerst geconverteerd naar energiedragers (elektriciteit en motorbrandstoffen bijvoorbeeld). Het fossiel brandstofverbruik relateren we dan ook aan het gebruik van energiedragers door eindgebruikers. Zie de eerste term in formule (1).

Op de tweede plaats hangt de ontwikkeling van het fossiele brandstofverbruik samen met de inzet van schone energie (duurzame en schoon fossiele energie)¹: bij een groter percentage schone energie in de totale energievoorziening, neemt het gebruik van fossiele brandstoffen (bij een gegeven totaal energiegebruik) navenant af. Zie de tweede term in formule (1).

Op de derde plaats is het fossiele brandstofverbruik afhankelijk van de mate van efficiency bij de productie en distributie van energiedragers. 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 gelaten².

¹ We maken onderscheid tussen schone energie en fossiele energie. Onder schone energie verstaan we energie die bij gebruik 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 brengen.

² De reden hiervoor is, dat de efficiency in de afgelopen decennia nauwelijks is veranderd, en niet gezien wordt als belangrijke stuurvariabele voor de toekomst.



Uit bovenstaande volgt dat de relatieve verandering van het fossiele brandstofverbruik (\dot{B}_t) een functie is van de verandering van het gebruik van energiedragers (\dot{E}_t), verminderd met het aandeel schone energie hierin:

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

waarbij:

B_t : fossiele brandstofverbruik in het jaar t

E_t : gebruik van energiedragers in het jaar t

D_{aut} : aandeel schone energie in het totale gebruik van energiedragers in het jaar t

1.3 Gebruik van energiedragers

Het gebruik van energiedragers E_t kunnen we zien als een functie van het gebruik van energiefuncties (F_t) en de efficiency (N_t). Een toenemend functiegebruik genereert (bij een gelijkblijvende efficiency) een stijging van het gebruik van energiedragers. Meer televisiekijken gaat bijvoorbeeld gepaard met een toename van de hoeveelheid gebruikte kilowattuur.

Een verbetering van de efficiency leidt tot een daling van het gebruik van energiedragers. Immers, per eenheid energiefunctie wordt dan minder energie gebruikt, terwijl het dezelfde mate van comfort levert.

In formulevorm:

$$\dot{E}_t = \dot{F}_t - \dot{N}_t \quad (2)$$

waarbij:

F_t : totale gebruik van energiefuncties in het jaar t (fysieke eenheid)

N_t : energie-efficiency in het jaar t (eenheden energiefunctie/Joule)

In het onderstaande analyseren we de factoren die de ontwikkeling verklaren van beide variabelen, het functiegebruik en de efficiency-ontwikkeling.

1.4 Efficiency

De efficiencyverbetering is een resultante van twee ontwikkelingen:

- *Autonome efficiencyverbetering*
Als gevolg van technologische ontwikkelingen (mede als gevolg van beleid) is een nieuwe versie van een apparaat gemiddeld energiezuiniger dan de oude versie. De efficiency, uitgedrukt als het aantal eenheden energiefunctie per eenheid energie (fysieke eenheden/Joule), neemt dus gemiddeld toe. In formule (3) wordt dit weergegeven door de eerste term.
- *Ontwikkeling van de energieprijis*
Een toename van de energieprijis (voor eindgebruikers) is een stimulans voor het nemen van efficiencymaatregelen: deze zijn rendabeler naarmate de energieprijis hoger is. Een energieprijisdaling verlaagt de stimulans voor het nemen van efficiencymaatregelen. Het effect van een prijsverhoging is in de praktijk niet gelijk aan dat van een prijsdaling omdat bij een prijsdaling reeds aangeschafte energiezuinige apparatuur niet wordt vervangen door minder energiezuinige. We veronderstellen

echter dat het effect van een prijsstijging even groot is als dat van een prijsdaling³.

De mate waarin de efficiency toeneemt als gevolg van een stijging van de energieprijzen, wordt bepaald door de prijselasticiteit van de efficiency voor de energieprijzen (α): een stijging van de energieprijzen met 1%, leidt tot een efficiencyverbetering met een percentage α . Zie de tweede term in formule (3).

We kunnen de bovenstaande effecten die de efficiency-ontwikkeling verklaren, samenvatten in de volgende formule:

$$\dot{N}_t = \dot{N}_{aut} + \alpha \dot{P}_t \quad (3)$$

waarbij:

N_{aut} : autonome energie-efficiency in het jaar t (eenheden energiefunctie/Joule)

P_t : reële eindgebruikersprijs per eenheid energiedrager in het jaar t (gulden/Joule)

α : prijselasticiteit van de efficiency (prijs = energieprijzen voor eindgebruikers)

1.5 Energifunctiegebruik

Formule (2) geeft aan dat het gebruik van energiedragers afhankelijk is van de efficiency en het gebruik van energiefuncties. In bovenstaande hebben we aangegeven welke factoren de efficiency verklaren (formule 3). In het onderstaande gaan we verder in op het functiegebruik. Uiteindelijk zullen beide uitwerkingen in formule 2 worden gesubstitueerd, resulterend in formule 13.

Veranderingen in het functiegebruik, dus bijvoorbeeld het aantal uren televisiekijken of het aantal lumenuur, hangen af van drie factoren:

1 Bevolkingsgroei

Een toename van de bevolkingsomvang gaat gepaard met een toename van het functiegebruik. Meer mensen met gemiddeld dezelfde consumptieve behoeften leidt tot een toename van de vraag naar energiefuncties. Zie de eerste term in formule (4).

2 Inkomensontwikkeling.

Een toename van het reële inkomen leidt tot een toename van het functiegebruik. De toename van elektrische functies in huishoudens is hiervan een voorbeeld: (onder andere) doordat we elk jaar in reële termen meer inkomen hebben, kunnen we steeds meer huishoudelijke apparaten kopen, zoals te zien is aan de intrede van wasdrogers, magnetrons, vaatwasmachines en dergelijke in veel huishoudens.

Bij een bepaalde procentuele toename van het inkomen zal het functiegebruik met een bepaalde elasticiteit op deze toename reageren. De inkomenselasticiteit van het functiegebruik noemen we β . Bij een jaarlijkse toename van het inkomen met 1%, zal het functiegebruik toenemen met een percentage β . In formule (4) is dit inkomenseffect herkenbaar in de tweede term.

3 Kostprijzen van energiefuncties

De kostprijzen van energiefuncties is een derde factor die het gebruik ervan verklaart. Een voorbeeld: in een situatie van een perfecte markt zouden consumenten het gebruik van energiefuncties afstemmen op de

³ We maken geen onderscheid tussen het effect van prijsstijgingen en -dalingen omdat het effect van energieprijzenverlagingen in deze studie niet expliciet wordt onderzocht.



prijs ervan. Hoewel deze markt niet perfect is, zou het toenemend gebruik van spaarlampen en een dalende prijs per lumenuur een onderbouwing kunnen zijn van dit effect. In het bedrijfsleven wordt de beslissing om een energiebesparende maatregel uit te voeren, meer dan bij consumenten het geval is, gebaseerd op de rentabiliteit ervan; hierbij worden zowel de aanschafkosten als de energiekostenbesparing meegenomen.

In algemene zin reageert het functiegebruik met een prijselasticiteit $-\chi$ op een kostprijsdaling of $-\text{stijging}$ ⁴: een daling van de kostprijs met 1% leidt tot een stijging van het functiegebruik met $\chi\%$. Zie de derde term in formule (4).

Het minteken van de elasticiteit is hier naar voren gehaald om zichtbaar te maken dat een kostprijsdaling leidt tot een *stijging* van het functiegebruik, en omgekeerd. De elasticiteit χ is daarmee dus in feite de negatieve van de elasticiteit (positief van waarde in plaats van negatief).

Deze elasticiteit impliceert een (klein) indirect inkomenseffect doordat een verandering van de kostprijs van energiefuncties invloed heeft op de verhouding tussen bestedingen aan energiefuncties en die in overige consumptiecategorieën (door substitutie)⁵.

We kunnen de bovenstaande effecten, die de ontwikkeling van het functiegebruik verklaren, samenvatten in de volgende formule:

$$\dot{F}_t = J_{aut} + \beta \dot{Y}_{aut} - \chi \dot{Q}_t \quad (4)$$

waarbij:

\dot{J}_{aut} : autonome ontwikkeling van de bevolkingsomvang in het jaar t

\dot{Y}_{aut} : autonome ontwikkeling van de het inkomen per capita in het jaar t

Q_t : kostprijs per eenheid energiefunctie in het jaar t (gulden/eenheid)

β : inkomenselasticiteit van het functiegebruik

χ : negatieve van de kostprijselasticiteit van het functiegebruik (kostprijs = kostprijs van energiefuncties)

1.6 Kostprijs van energiefuncties

In deze paragraaf wordt de kostprijs van energiefuncties \dot{Q}_t uit formule (4) verder uitgewerkt. Hierin is het effect van trendmatige (autonome) ontwikkelingen en het effect van de ontwikkelingen van de energieprijzen op de kostprijs te onderscheiden.

De kostprijs van een eenheid energiefunctie is opgebouwd uit twee soorten kosten:

- vaste kosten: de reële aanschafkosten van apparatuur per eenheid energiefunctie (bijvoorbeeld: kosten voor de aanschaf van spaarlampen, toegerekend aan een lumenuur verlichting);

⁴ Zoals hiervoor reeds gezegd, veronderstellen we dat de prijselasticiteit van een kostprijsdaling gelijk is aan die van een kostprijsstijging.

⁵ Dit indirecte inkomenseffect (impliciet in de elasticiteit) is gemodelleerd met behulp van het aandeel van de functiekosten in het inkomen (C_t):

$$C_t = (\beta - 1) \dot{Y}_{aut} - (1 - \chi) \dot{Q}_t$$

- variabele kosten: de energie- en overige variabele kosten per eenheid energiefunctie (overige kosten zijn bijvoorbeeld kosten voor water of wasmiddel bij bijvoorbeeld de functie wassen van wasgoed)⁶.

Wanneer er een verandering optreedt in één van beide kostenposten, is de verhouding tussen deze twee bepalend voor het effect ervan op de totale kostprijs. De verhouding tussen de vaste en variabele kosten in de kostprijs van energiefuncties wordt weergegeven met de kleine letters v en w , waarbij v het aandeel van de vaste kosten is in de totale kostprijs van energiefuncties, en w het aandeel van de variabele kosten (en $v+w=1$)⁷.

Het effect van veranderingen in de vaste én variabele kosten op de totale kostprijs per eenheid energiefunctie kan als volgt worden weergegeven:

$$\dot{Q}_t = v \dot{Q}_{vast} + w \dot{Q}_{var} \quad (5)$$

waarbij:

Q_{vast} : vaste kosten van energiefuncties

Q_{var} : variabele kosten van energiefuncties

v : gepercipieerde aandeel van de vaste kosten in de totale kostprijs

w : gepercipieerde aandeel van de variabele kosten in de totale kostprijs

$v + w = 1$

Deze formule wordt hieronder uitgewerkt.

Vaste kosten

De reële kosten van de aanschaf van apparatuur veranderen in de loop der tijd als gevolg van een tweetal tegengestelde ontwikkelingen:

- *Jaarlijkse autonome ontwikkeling van de reële vaste kosten ($\dot{Q}_{vast,aut}$):*

De reële prijzen voor eindgebruikers van goederen en diensten die verbonden zijn aan energiefuncties veranderen jaarlijks door autonome ontwikkelingen. Factoren die hierop van invloed zijn, zijn bijvoorbeeld toenemende concurrentie en schaalvoordelen van de productie. Spaarlampen en computers bijvoorbeeld zijn het afgelopen decennium zowel nominaal als reëel in prijs gedaald. In deze analyse worden deze reële aanschafkosten toegerekend aan een functie-eenheid. Het betreft dus bijvoorbeeld de aanschafkosten van lampen per lumenuur. De jaarlijkse autonome (reële) daling van de vaste kosten wordt voorgesteld door $\dot{Q}_{vast,aut}$. Zie de eerste term in formule (6).

- *Effect van efficiencyverbetering op de vaste kosten:* Energiezuinige technieken zijn gewoonlijk (tijdelijk) duurder dan de conventionele variant. Anders gezegd: 1% efficiencyverbetering leidt tot een verhoging van de vaste kosten met $\delta\%$. Zie de tweede term in formule (6).

⁶ Eventuele beheers- en arbeidskosten blijven in deze analyse buiten beschouwing.

⁷ De aandelen van de vaste en variabele kosten in de totale kostprijs zijn als endogenen gemodelleerd: ze veranderen afhankelijk van de ontwikkeling van de vaste en variabele kosten. Uit het oogpunt van eenvoud worden ze als exogenen gepresenteerd.



Voorgenoemde effecten worden weergegeven in de volgende formule: (6)

$$\dot{Q}_{vast} = \dot{Q}_{vast,aut} + \delta \dot{N}_t$$

waarbij:

$\dot{Q}_{vast,aut}$: autonome ontwikkeling van de vaste kosten van energiefuncties

δ : effect van efficiency op de vaste component van de kostprijs van energiefuncties

Variabele kosten

Apparaten gebruiken energie om de gewenste energiefunctie te kunnen leveren. De kosten van dat energiegebruik worden bepaald door:

- **Het energiegebruik per eenheid energiefunctie:**
Door efficiencyverbetering neemt het energiegebruik per eenheid energiefunctie af. Een energiezuinige wasmachine gebruikt bijvoorbeeld minder energie per wasbeurt dan de conventionele variant. Hierdoor nemen ook de energiekosten evenredig af (bij een gelijkblijvend gebruik van energiefuncties). Zie de tweede term in formule (7).
- **De prijs van energie:**
Wanneer een kilowattuur elektriciteit of een kubieke meter aardgas in prijs stijgt, nemen de variabele kosten evenredig toe, en omgekeerd (bij gelijkblijvend energiegebruik). Zie de eerste term in formule (7).

Bovenstaande effecten worden weergegeven in de volgende formule: (7)

$$\dot{Q}_{var} = \dot{P}_t - \dot{N}_t$$

waarbij:

\dot{Q}_{var} : variabele kosten van energiefuncties

1.7 Energieprijs voor eindgebruikers

De energieprijs (voor eindgebruikers) P_t is de gemiddelde prijs per eenheid energiedrager, in reële termen.

De ontwikkeling van deze prijs kan in formulevorm als volgt worden weergegeven⁸:

$$\dot{P}_t = (1 - D_{aut}) \frac{P_{fos,aut}}{P_t} \dot{P}_{fos,aut} + D_{aut} \frac{P_{schoon,aut}}{P_t} \dot{P}_{schoon,aut} + \frac{(P_{schoon,aut} - P_{fos,aut})}{P_t} D_{aut} \dot{D}_{aut} \quad (8)$$

waarbij:

D_{aut} : het aandeel schone energie in de totale gebruik van energiedragers

$P_{fos,aut}$: gemiddelde reële prijs per eenheid fossiele energiedrager (gulden/Joule)

$P_{schoon,aut}$: gemiddelde reële prijs per eenheid schone energiedrager (gulden/Joule)

⁸ Deze formule is de afgeleide van: $P_t = (1 - D_{aut}) \cdot P_{fos,aut} + D_{aut} \cdot P_{schoon,aut}$. Deze formule geeft aan dat de prijs uit een fossiel en schoon gedeelte bestaat, en dat het aandeel van het betreffende type energie in de energievoorziening aangeeft in hoeverre de prijs van de beide typen energie doorwerkt in de totale prijs.

In deze formule is zichtbaar dat de ontwikkeling van de prijs van energie voor eindgebruikers afhankelijk is van drie autonome ontwikkelingen⁹:

- ontwikkeling van de prijs van fossiele energie (eerste term);
- ontwikkeling van de prijs van schone energie (tweede term);
- de verhouding tussen fossiele energie en schone energie in het gebruik van energiedragers (derde term).

Deze worden hieronder toegelicht.

Fossiele deel van de energieprij

Een verandering van de prijs van fossiele energie werkt niet voor 100% door in de totale energieprij. Hierop hebben twee factoren invloed:

- *Het aandeel van de fossiele prijs in de totale energieprij.*
Wanneer de prijs van fossiele energie met 1% stijgt, neemt de totale kostprijs toe met $\frac{P_{fos,aut}}{P_t}$ % (bij gelijkblijvende aandelen van fossiele en schone energie in de energievoorziening).
- *Het aandeel van fossiele energie in de energievoorziening: $(1-D_{aut})$.* Bij een relatief groot aandeel werkt de prijsverandering sterker door dan bij een relatief klein aandeel.

De fossiele energieprij is in de modellering opgebouwd uit een kale eindgebruikersprijs plus de heffing(en) op fossiele energie. Uit oogpunt van eenvoud wordt deze opsplitsing hier niet expliciet getoond in de formules.

Schone deel van de energieprij

Op de doorwerking van een verandering van de prijs van schone energie in de totale energieprij hebben twee factoren invloed:

- *Het aandeel van de prijs van schone energie in de totale energieprij.*
Wanneer de prijs van schone energie met 1% stijgt, neemt de totale kostprijs toe met $\frac{P_{schoon,aut}}{P_t}$ % (bij gelijkblijvend aandelen van fossiele en schone energie in de energievoorziening).
- *Het aandeel van schone energie in de energievoorziening: (D_{aut}) .* Bij een relatief groot aandeel werkt de prijsverandering sterker door dan bij een relatief klein aandeel.

De verhouding tussen fossiele en schone energie

Veranderingen in de verhouding tussen schone en fossiele energie (bijvoorbeeld doordat schone energie een prominentere rol gaat spelen in de energievoorziening) beïnvloedt de gemiddelde energieprij voor eindgebruikers. Dit wordt weergegeven in de derde term van formule (8).

1.8 Mechanismen achter de groei van het gebruik van energiedragers

In deze paragraaf worden de herleide vorm formules gepresenteerd. Op basis van de voorgaande formules wordt door substitutie toegewerkt naar een formule waarin de mechanismen die de ontwikkeling van het gebruik van energiedragers verklaren, zijn te onderkennen (formule 13).

Kostprijs van energiefuncties

⁹ De energieprij voor eindgebruikers wordt gesplitst in gedeelten gerelateerd aan respectievelijk het gebruik van fossiele en schone energie. Dit onderscheid wordt gemaakt met het oog op het analyseren van beleidseffecten zoals in het volgende hoofdstuk beschreven. Bij de uitwerking van het model voor de sector huishoudens wordt tevens onderscheid gemaakt tussen elektriciteit en gas.

In paragraaf 1.6 zijn in formule (6) en (7) de factoren weergegeven die invloed hebben op het vaste en variabele gedeelte van de kostprijs van energiefuncties:

$$\dot{Q}_{vast} = \dot{Q}_{vast,aut} + \delta \dot{N}_t \quad (6)$$

$$\dot{Q}_{var} = \dot{P}_t - \dot{N}_t \quad (7)$$

Substitutie van deze formules in (5) levert:

$$\dot{Q}_t = v \left(\dot{Q}_{vast,aut} + \delta \dot{N}_t \right) + w \left(\dot{P}_t - \dot{N}_t \right) \quad (10)$$

Substitutie van de formule voor de efficiency (3) in (10) geeft:

$$\dot{Q}_t = v \dot{Q}_{vast,aut} + (\delta v - w) \dot{N}_{aut} + [w + \alpha(\delta v - w)] \dot{P}_t \quad (11)$$

Deze formule laat zien dat de relatieve verandering van de kostprijs per eenheid energiefunctie een functie is van trendmatige ontwikkelingen (de eerste en tweede term in (11)) en van de ontwikkeling van de energieprijzen (de derde term in (11)). De trendmatige ontwikkelingen betreffen:

- autonome ontwikkeling van de vaste kosten ($\dot{Q}_{vast,aut}$)
- autonome ontwikkeling van efficiency (\dot{N}_{aut}).

Hierop zijn van invloed:

- effect van efficiency op de vaste kosten (δ);
- verhouding tussen de vaste en variabele kosten in de totale kostprijs van energiefuncties (v en w).

Het effect van de energieprijzen voor eindgebruikers op de kostprijs van energiefuncties wordt bepaald door:

- aandeel van de variabele kosten in de totale kostprijs (w);
- effect van de energieprijzontwikkeling op de efficiency ($\alpha(\delta v - w)$).

Gebruik van energiefuncties

In formule 4 hebben we het functiegebruik gemodelleerd als een functie van de groei van de bevolking, het inkomen en van veranderingen in de kostprijs van energiefuncties:

$$\dot{F}_t = J_{aut} + \beta \dot{Y}_{aut} - \chi \dot{Q}_t$$

Vervolgens hebben we \dot{Q}_t uitgewerkt tot formule (11). Substitutie van (11) in (4) geeft:

$$\dot{F}_t = J_{aut} + \beta \dot{Y}_{aut} - \chi v \dot{Q}_{vast,aut} - \chi(\delta v - w) \dot{N}_{aut} + [-\chi w - \alpha \chi(\delta v - w)] \dot{P}_t \quad (12)$$

Deze formule laat zien dat het functiegebruik een functie is van autonome ontwikkelingen (bevolking \dot{J}_{aut} , inkomen \dot{Y}_{aut} , vaste kosten $\dot{Q}_{vast,aut}$ en efficiency \dot{N}_{aut}) en van de ontwikkeling van de energieprijis (P_t).

Gebruik van energiedragers

Het gebruik van energiedragers is een functie van de efficiency en het functiegebruik, zoals we in formule (2) zagen:

$$\dot{E}_t = \dot{F}_t - \dot{N}_t$$

De factoren die het functiegebruik en de efficiency verklaren, hebben we in het bovenstaande uitgewerkt tot formule (12) voor het functiegebruik en formule (3) voor de efficiency. Substitutie van deze beide formules in (2) geeft¹⁰:

(13)

$$\dot{E}_t = \dot{J}_{aut} + \beta \dot{Y}_{aut} - \chi \nu \dot{Q}_{vast,aut} - [\chi(\delta \nu - w) + 1] \dot{N}_{aut} + [\alpha - \chi w - \alpha \chi(\delta \nu - w)] P_t$$

In deze formule zijn de afzonderlijke mechanismen die de trendmatige ontwikkeling in het gebruik van energiedragers verklaren, duidelijk te herkennen in de termen aan de rechterkant van het isgelijk-teken. Hieronder worden deze effecten toegelicht:

\dot{J}_{aut} : *effect van bevolkingsgroei*

Het gebruik van energiedragers neemt evenredig toe met de toename van de bevolking.

$\beta \dot{Y}_{aut}$: *directe inkomenseffect*

Bij een jaarlijkse toename van het inkomen met 1% zal het functiegebruik, en daarmee het gebruik van energiedragers, toenemen met een percentage β , waarbij β de inkomenselasticiteit van het functiegebruik is¹¹.

$-\dot{N}_{aut}$: *directe efficiency-effect*

Het gebruik van energiedragers neemt evenredig af met een toename van de efficiency.

$-\chi \nu \dot{Q}_{vast,aut}$: *indirecte effect van de vaste kosten op het functiegebruik*

Een jaarlijkse (autonome) ontwikkeling van de vaste kosten werkt door in de totale kostprijs met een factor ν , het (gepercipieerd) aandeel van de vaste kosten in de totale kostprijs. Deze verandering werkt met een elasticiteit $-\chi$ door in het functiegebruik; χ is hierin de (negatieve van de) prijselasticiteit van het functiegebruik voor de kostprijs van energiefuncties. Met andere woorden: ten gevolge van

¹⁰ Uit oogpunt van eenvoud is ervoor gekozen om in deze formule niet (8), de formule voor de prijs van energie, te substitueren.

¹¹ We nemen aan dat het gebruik van energiedragers evenredig toeneemt met een toename van het functiegebruik.



een stijging van de vaste kosten met 1% neemt het functiegebruik af met een percentage χv . Deze verandering van het functiegebruik leidt vervolgens tot een evenredige afname van het gebruik van energiedragers.

$-\chi(\delta v - w)\overset{\circ}{N}_{aut}$: *indirecte effect van de autonome efficiencyverbetering op het functiegebruik*

De autonome efficiencyverbetering heeft twee terugkoppelingen op het functiegebruik: één via de variabele kosten, en één via de vaste kosten. Bovengenoemde term is immers te schrijven als:

$$-\chi\delta v\overset{\circ}{N}_{aut} + \chi w\overset{\circ}{N}_{aut}.$$

Hierin is het tweede deel de terugkoppeling via de variabele kosten, en het eerste deel de terugkoppeling via de vaste kosten:

- *Indirect effect via de variabele kosten ($\chi w\overset{\circ}{N}_{aut}$)*

Een autonome efficiencyverbetering met 1% per jaar leidt tot een kostendaling per eenheid energiefunctie met een percentage w , waarbij w het aandeel van de variabele kosten in de totale kosten per eenheid energiefunctie is. Deze kostendaling werkt met een elasticiteit χ door in het functiegebruik; χ is hierin de prijselasticiteit van het functiegebruik voor de kostprijs van energiefuncties. Met andere woorden: ten gevolge van de 1% efficiencyverbetering neemt het functiegebruik toe met een percentage χw . Dit leidt vervolgens tot een evenredige toe- of afname van het gebruik van energiedragers.

Dit effect staat bekend als het reboundeffect.

- *Indirect effect via de vaste kosten ($-\chi\delta v\overset{\circ}{N}_{aut}$)*

Autonome efficiencyverbetering leidt tot een (geringe) verhoging van de vaste kosten van energiefuncties (δ) doordat bij de realisatie van efficiencyverbetering voor een energiezuinige variant van een techniek wordt gekozen, die meestal duurder is dan de conventionele. Een verhoging van de vaste kosten met een percentage δ leidt tot een verhoging van de kostprijs per eenheid energiefunctie met δv , waarbij v het aandeel van de vaste kosten in de kostprijs van energiefuncties aangeeft. Deze stijging van de kostprijs van energiefuncties leidt tot een afname van het gebruik ervan met een percentage $-\chi\delta v$. Hierin is χ de (negatieve van de) prijselasticiteit van het functiegebruik voor de kostprijs van energiefuncties. Deze afname vertaalt zich vervolgens in een evenredige afname van het gebruik van energiedragers.

Het negatieve teken van deze term en het positieve teken van het indirecte effect van de variabele kosten geeft aan dat deze twee effecten tegengesteld zijn: via een verhoging van de vaste kosten leidt efficiencyverbetering tot een afname van het gebruik van energiedragers, via een verlaging van de variabele kosten tot een toename.

Een voorbeeld. Bij de keuze tussen een energiezuinige en een 'gewone' wasmachine kan het zijn dat de eerste een hogere prijs heeft (waarbij we veronderstellen dat de beide machines vergelijkbaar zijn in de overige prestaties). Dit betekent dat de kostprijs om een kilogram wasgoed te wassen voor het energiezuinige type iets hoger is. Indien er sprake zou zijn van een perfecte markt, zouden consumenten reageren op de hogere

kostprijs door de machine iets minder frequent te gebruiken of de gemiddelde belading per wasbeurt te vergroten.

$[\alpha - \chi w - \alpha\chi(\delta v - w)]P_t$: *indirecte effect van de energieprijis op het energiegebruik*

Een daling of stijging van de energieprijis heeft invloed op het gebruik van energiedragers: het gebruik reageert hierop met een prijs-elasticiteit. De gehele factor voor P_t is dan ook gelijk aan deze prijs-elasticiteit. De verschillende deeleffecten waaruit de elasticiteit is opgebouwd zijn aan de hand van de termen van de eerste factor te onderscheiden:

$-\chi w$: Een verandering van de energieprijis beïnvloedt de variabele kosten van energiefuncties: wanneer energie duurder wordt, nemen de variabele kosten evenredig toe, en omgekeerd. Deze verandering werkt met een factor w door in de kostprijs van energiefuncties (waarbij w aangeeft hoe groot het variabele deel is in de kostprijs). Vervolgens heeft deze verandering van de kostprijs tot gevolg dat het functiegebruik hierop met een elasticiteit $-\chi$ reageert. Met andere woorden: wanneer energie voor eindgebruikers 1% duurder (of goedkoper) wordt, neemt het functiegebruik met $-\chi \cdot w\%$ af (respectievelijk toe). Het gebruik van energiedragers volgt vervolgens het functiegebruik en daalt (respectievelijk stijgt) met hetzelfde percentage.

α : Een verandering van de energieprijis beïnvloedt de efficiency (met een energieprijiselasticiteit α): een energieprijisstijging stimuleert het nemen van efficiencymaatregelen en een prijsdaling ontmoedigt dit. Het gebruik van energiedragers neemt evenredig af (respectievelijk toe) met de verbetering (respectievelijk verslechtering) van de efficiency.

$\alpha\chi(\delta v - w)$ De door veranderingen in de energieprijis veroorzaakte efficiencyontwikkeling heeft een terugkoppeling op het functiegebruik via de vaste en variabele kosten, zoals hierboven is beschreven bij de terugkoppeling van de autonome efficiencyverbetering.



2 Elasticiteiten van het functiegebruik

Omdat het *functiegebruik* als leidraad is genomen om de mechanismen achter het energiegebruik in kaart te brengen, zijn de waarden van een aantal gebruikte elasticiteiten moeilijk te bepalen. We hebben er voor gekozen om de waarde van twee elasticiteiten waarvoor geen waarde in de literatuur voorhanden is, af te leiden uit de overige elasticiteiten en coëfficiënten. Dit zijn de inkomenselasticiteit van het functiegebruik (β) en de prijselasticiteit van het functiegebruik voor de kostprijs van energiefuncties (χ):

$$\beta = \varepsilon + \frac{\overset{\circ}{N}_{aut} - \chi v \overset{\circ}{Q}_{vast,aut} - \chi(w - \delta v) \overset{\circ}{N}_{aut}}{\overset{\circ}{Y}_{aut}}$$

Waarbij:

ε *inkomenselasticiteit van het energiegebruik*

De *inkomenselasticiteit van het functiegebruik* (β) 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 (ε). 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 ($\overset{\circ}{N}_{aut} / \overset{\circ}{Y}_{aut}$).
- 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 (tweede en derde term van de teller, relatief ten opzichte van $\overset{\circ}{Y}_{aut}$).

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 (χ) en voor de verhouding tussen de vaste en variabele kosten (v en w).

De *kostprijselasticiteit van het functiegebruik* (χ) is afgeleid doordat de prijselasticiteit van het energiegebruik gelijk is aan de factor die voor P_1 in de laatste term van formule (13) staat. Dit levert de volgende formule op voor χ :

$$\chi = \frac{\eta - \alpha}{w + \alpha(w - \delta v)}$$

Waarbij:

η *prijselasticiteit van de vraag naar energiedragers (prijs = energieprijs voor eindgebruikers)*

Deze elasticiteit is met name gevoelig voor het verschil tussen de beide prijselasticiteiten α en η .



3 Overzicht van formules en parameters

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de formules waaruit het model is opgebouwd. Formule 1 tot en met acht zijn de basis-formules, terwijl 9 tot en met 13 de herleide vorm vergelijkingen zijn. Beleidseffecten zijn onderzocht door de autonomen te variëren.

De vergelijkingen richten zich op de relatieve veranderingen ten opzichte van een basisjaar . Dit wordt weergegeven door een $\dot{}$ boven de parameters. Dit is als volgt gedefinieerd (met het brandstofverbruik B_t als voorbeeld):

$$\dot{B}_t = \frac{1}{B_t} \cdot \frac{dB_t}{dt} = \frac{d \ln B_t}{dt}$$

3.1 Overzicht modellering

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

$$\dot{E}_t = \dot{F}_t - \dot{N}_t \quad (2)$$

$$\dot{N}_t = \dot{N}_{aut} + \alpha \dot{P}_t \quad (3)$$

$$\dot{F}_t = \dot{J}_{aut} + \beta \dot{Y}_{aut} - \chi \dot{Q}_t \quad (4)$$

$$\dot{Q}_t = v \dot{Q}_{vast} + w \dot{Q}_{var} \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{vast} = \dot{Q}_{vast,aut} + \delta \dot{N}_t \quad (6)$$

$$\dot{Q}_{var} = \dot{P}_t - \dot{N}_t \quad (7)$$

$$\dot{P}_t = (1 - D_{aut}) \frac{P_{fos,aut}}{P_t} \dot{P}_{fos,aut} + D_{aut} \frac{P_{schoon,aut}}{P_t} \dot{P}_{schoon,aut} + \frac{(P_{schoon,aut} - P_{fos,aut})}{P_t} D_{aut} \dot{D}_{aut} \quad (8)$$

$$\dot{C}_t = (B - 1) \dot{Y}_{aut} - (1 - \chi) \dot{Q}_t \quad (9)$$

Herleide vorm vergelijkingen:

$$\dot{Q}_t = v \left(\dot{Q}_{vast,aut} + \delta \dot{N}_t \right) + w \left(\dot{P}_t - \dot{N}_t \right) \quad (10)$$

$$\dot{Q}_t = v \dot{Q}_{vast,aut} + (\delta v - w) \dot{N}_{aut} + [w + \alpha(\delta v - w)] \dot{P}_t \quad (11)$$

$$\dot{F}_t = J_{aut} + \beta \dot{Y}_{aut} - \chi v \dot{Q}_{vast,aut} - \chi(\delta v - w) \dot{N}_{aut} + [-\chi w - \alpha \chi(\delta v - w)] \dot{P}_t \quad (12)$$

$$\dot{E}_t = J_{aut} + \beta \dot{Y}_{aut} - \chi v \dot{Q}_{vast,aut} - [\chi(\delta v - w) + 1] \dot{N}_{aut} + [\alpha - \chi w - \alpha \chi(\delta v - w)] \dot{P}_t \quad (13)$$

3.2 Verklaring van gebruikte parameters

Endogenen:

- B_t : fossiele brandstofverbruik op tijdstip t (Joules)
- E_t : totale gebruik van energiedragers op tijdstip t (Joules)
- D_t : aandeel schone energie in het totale gebruik van energiedragers op tijdstip t
- F_t : totale gebruik van energiefuncties op tijdstip t (fysieke eenheid)
- N_t : energie-efficiency op tijdstip t (eenheid energiefunctie/Joule)
- P_t : reële (gemiddelde) eindgebruikersprijs per eenheid energiedrager op tijdstip t (gulden/Joule)
- Q_t : kostprijs per eenheid energiefunctie op tijdstip t (gulden/eenheid)
- Q_{vast} : vaste kosten van energiefuncties
- Q_{var} : variabele kosten van energiefuncties
- C_t : aandeel funktiekosten in totale inkomen



Autonomen:

D_{aut} : *het aandeel schone energie in de totale gebruik van energiedragers*

\dot{N}_{aut} : *autonome ontwikkeling van de energie-efficiency (relatieve verandering in jaar t)*

\dot{Y}_{aut} : *autonome ontwikkeling van het inkomen (relatieve verandering in jaar t)*

$\dot{Q}_{vast,aut}$: *autonome ontwikkeling van de vaste kosten van energiefuncties (relatieve verandering in jaar t)*

$P_{fos,aut}$: *gemiddelde reële prijs per eenheid fossiele energiedrager (gulden/Joule)*

$P_{schoon,aut}$: *gemiddelde reële prijs per eenheid schone energiedrager (gulden/Joule)*

Elasticiteiten

α : *prijselasticiteit van de efficiency (prijs = energieprijs voor eindgebruikers)*

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*

ε : *inkomenselasticiteit van het energiegebruik*

η : *prijselasticiteit van de vraag naar energiedragers (prijs = energieprijs voor eindgebruikers)*

Overige parameters:

v : *gepercipieerde aandeel vaste kosten in de totale kostprijs*

w : *gepercipieerde aandeel van de variabele kosten in de totale kostprijs*

$v + w = 1$



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

Bijlage B

Kwantificering van het model

Opgesteld door: J. van Swigchem
B. Leurs



Inhoud

1	Inleiding	23
2	Kwantificering op macro-niveau	25
2.1	Overzicht	25
2.2	Inkomenselasticiteit van het energiegebruik (ϵ)	25
2.3	Prijselasticiteit van het energiegebruik en van de efficiency voor de energieprijzen (η en α)	26
2.4	Effect van de efficiency op de vaste component van de kostprijs van energiefuncties (δ)	27
2.5	Aandeel van de vaste en variabele kosten in de kostprijs van energiefuncties (v en w)	28
2.6	Inkomenselasticiteit van het functiegebruik (β)	29
2.7	Kostprijselasticiteit van het functiegebruik (χ)	29
2.8	Relatieve verandering van de vraag naar energiedragers (E)	29
2.9	Relatieve verandering van het inkomen (Y_{aut})	29
2.10	Relatieve verandering van de efficiency (N_{aut})	30
2.11	Relatieve verandering van de vaste kosten ($Q_{vast,aut}$)	31
2.12	Aandeel van schone energie in het totale gebruik van energiedragers (D_{aut})	31
2.13	Huidige prijs van schone energie ten opzichte van die van fossiel (P_{fos})	31
2.14	Jaarlijkse verandering van de prijs van fossiele energie (p)	32
2.15	Jaarlijkse verandering van de prijs van schone energie (s)	33
3	Kwantificering modellering elektriciteitsverbruik huishoudens	35
3.1	Inkomenselasticiteit van het energiegebruik (ϵ)	35
3.2	Prijselasticiteit van het elektriciteitsverbruik en van de efficiency voor de energieprijzen (η en α)	36
3.3	Effect van de efficiency op de vaste component van de kostprijs van energiefuncties (δ)	36
3.4	Aandeel van de vaste en variabele kosten in de kostprijs van energiefuncties (v en w)	36
3.5	Inkomenselasticiteit van het functiegebruik (β)	37
3.6	Kostprijselasticiteit van het functiegebruik (γ)	37
3.7	Relatieve verandering van de vraag naar energiedragers (E)	37
3.8	Relatieve verandering van het inkomen (Y_{aut})	37
3.9	Relatieve verandering van de efficiency (N_{aut})	37
3.10	Relatieve verandering van de vaste kosten ($Q_{vast,aut}$)	37
3.11	Aandeel van schone energie in het totale gebruik van energiedragers (D_{aut})	37
3.12	Jaarlijkse verandering van de prijs van fossiele energie (p)	38
3.13	Jaarlijkse verandering van de prijs van schone energie (s)	38

1 Inleiding

In deze bijlage geven we een verantwoording van de kwantificering van het model. In hoofdstuk 2 doen we dat voor het macro-niveau, en in hoofdstuk 3 voor de huishoudens.



2 Kwantificering op macro-niveau

2.1 Overzicht

In tabel 1 staan de waarden die we voor de elasticiteiten, coëfficiënten en parameters voor de modellering op macro-niveau hebben gebruikt. De waarden van de parameters betreffen (zo veel als mogelijk) de periode 1982-1997.

De waarden die met behulp van de overige waarden zijn berekend, zijn aangegeven met **.

Tabel 1 Waarden van elasticiteiten, coëfficiënten en autonomen op macro-niveau (periode 1982-1997)

Elasticiteit of coëfficiënt	Symbool	Waarde
Inkomenselasticiteit van het energiegebruik	ϵ	0,8
Prijselasticiteit van de efficiency voor de energieprijs	α	-0,26
Prijselasticiteit van het energiegebruik voor de energieprijs	η	-0,4
Effect van de efficiency op de vaste component van de kostprijs van energiefuncties	δ	0,15
Aandeel van de vaste kosten in de kostprijs van energiefuncties	v	0,48
Aandeel van de variabele kosten in de kostprijs van energiefuncties	w	0,52
Inkomenselasticiteit van het functiegebruik	β	1,1**
Kostprijselasticiteit van het functiegebruik (kostprijs=kostprijs van energiefuncties)	γ	-0,34**
Autonomen	Symbool	Waarde
Relatieve verandering van het inkomen per capita	Y_{AUT}	2,1% p.j.
Relatieve verandering van de efficiency	N_{AUT}	-1,8% p.j.
Relatieve verandering van de vaste kosten van energiefuncties	$Q_{VAST,AUT}$	-1% per jaar
Aandeel van schone energie in het totale gebruik van energiedragers	D_{AUT}	0,5% (1982)
Relatieve verandering van het aandeel schone energie in het totale gebruik van energiedragers	D^0_{AUT}	1,5% (1997)
Huidige prijs van schone energie ten opzichte van die van fossiel	P_{FOS}	2,5
Jaarlijkse verandering van de prijs van fossiele energie	P	-1% p.j.
Jaarlijkse verandering van de prijs van schone energie	S	0% p.j.

In de hierna volgende paragrafen volgt een onderbouwing van deze cijfers.

2.2 Inkomenselasticiteit van het energiegebruik (ϵ)

Voor de inkomenselasticiteit is een waarde genomen die niet gelijk is aan 1, om de volgende reden:

- Initieel is de inkomenselasticiteit gelijk aan 1 omdat de mutatie van de energievraag gelijk is aan het verschil van de mutatie van het inkomen

en die van de besparing¹. Bij een percentuele toename van het inkomen stijgt het energiegebruik evenredig mee.

- Dit is echter alleen geldig onder de veronderstelling dat de mate van besparing niet inkomensafhankelijk is.
- Dit is wel het geval, want bij een hoger inkomen zullen meer besparingsmaatregelen worden genomen omdat daar meer bestedingsruimte voor is². De vraag is dus hoe groot de inkomenselasticiteit van de besparing is.
- Deze hebben we als volgt berekend:
 - Het verschil in te realiseren energiebesparing in de scenario's Global Competition en Divided Europe van het CPB bedraagt 0,6%-punt³. Hiervan hangt 0,4%-punt direct samen met de hogere BBP-groei in het scenario Global Competition. Dit is namelijk extra energiebesparing die gerealiseerd wordt door (i) hogere investeringen (waardoor meer energiebesparende technologie wordt toegepast) en (ii) meer dematerialisatie die eveneens grotendeels het gevolg zal zijn van hogere investeringen.
 - Het verschil in BBP-groei tussen de beide scenario's bedraagt 1,8% per jaar⁴.
 - Bij 1% méér economische groei zal de besparing 0,2% per jaar extra toenemen⁵. De energievraag zal diensgevolge met 0,2% per jaar afnemen. Dit betekent dat de groei van het energiegebruik niet 1% is (meegaand met de groei van het BBP), maar 0,8% per jaar. De inkomenselasticiteit van het energiegebruik bedraagt dus 0,8.

2.3 Prijselasticiteit van het energiegebruik en van de efficiency voor de energieprijzen (η en α)

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

- Het aanschaffen van energiezuinige apparatuur en goed 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 onderscheid gemaakt tussen de bovengenoemde elasticiteiten⁶. Soms wordt een elasticiteit voor

¹ Kortweg: energievraag = inkomensgroei – besparing.

² Vringer en Blok, 1993 en 1995.

³ CPB, 1997.

⁴ Divided Europe is het scenario met de laagste economische groei (1,5% per jaar), en Global Competition de hoogste (4,25% per jaar). Bron: CPB, 1997.

⁵ Dit is 0,4/1,8.

⁶ Alleen het gemaakte onderscheid in Pronk en Blok, 1991, kan als zodanig worden opgevat. Hierin wordt de prijselasticiteit van het energiegebruik 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.



de good housekeeping onderscheiden⁷. Vaak wordt hoofdzakelijk gekeken naar de aanpassingen in de sfeer van de efficiency⁸.

De prijselasticiteit van de efficiency is gebaseerd op Koopmans, e.a., 1999. De basis is de lange termijn prijselasticiteit op macro-niveau die gebruikt wordt in NEMO, waarin replacement en good housekeeping zijn meegenomen (waarde: -0,29)⁹. Een gedeelte van de good housekeeping maatregelen zijn echter in feite een verlaging van het functiegebruik¹⁰. Voorbeelden zijn: meer (af)wassen op de hand en aan de lijn drogen, minder lampen laten branden of het lager zetten van de thermostaat of beperking van het stookseizoen. Deze maatregelen moeten in onze studie meegenomen worden in de prijselasticiteit van het energiegebruik. Voor de prijselasticiteit van de efficiency nemen we de waarde -0,26¹¹.

De prijselasticiteit van het energiegebruik is gebaseerd op A. de Groot e.a., 1998. Hierin is een overzicht gegeven van studies naar de prijselasticiteit van het energiegebruik. Er is een grote marge, afhankelijk van korte of lange termijn, van de sector of van hetgeen meegenomen is in de elasticiteit (zie de vorige alinea): -0,05 (korte termijn elasticiteit aardgas bij huishoudens) tot -0,6 (lange termijn elasticiteit transportbrandstof). We hebben het model gefit op de instelling van deze elasticiteit, op een waarde -0,4. Dit lijkt een plausibele waarde voor de prijselasticiteit.

2.4 Effect van de efficiency op de vaste component van de kostprijs van energiefuncties (δ)

Energie-efficiënte apparaten en installaties zijn over het algemeen iets duurder dan de 'gewone' types. Er zijn echter geen statistieken beschikbaar over de prijzen van beide. We hebben een inschatting gemaakt door telefonische navraag bij een aantal producenten van witgoedproducten voor de consumentenmarkt, en bij die van industriële installaties.

Uit de informatie van een aantal producenten van industriële installaties bleek dat de meeste energie bespaard kan worden door een combinatie van apparaten en maatregelen. Men kan van een industrieel proces wel zeggen of het relatief energie-efficiënt is of niet, en daar een prijskaartje aan hangen, maar het is zeer moeilijk om separaat een prijsverschil aan te geven tussen energie-efficiënte productie en de 'gewone'. Voor zover het wel mogelijk is, geven de deskundigen aan dat de verschillen in prijzen rond 15 tot 20% liggen. Dit is een grove indicatie en dient volgens de producenten met voorzichtigheid gebruikt te worden.

⁷ Bijvoorbeeld in Winter, e.a., 1991.

⁸ Bijvoorbeeld Velthuisen, 1995. Zie voor besprekingen van diverse studies: CPB, 1992; A. de Groot e.a., 1998.

⁹ De retrofit (aanpassingen aan bestaande installaties) wordt niet meegenomen in de lange termijn elasticiteit omdat de installaties op termijn worden vervangen door energiezuinige, waardoor het effect van de aanpassingen wegvalt.

¹⁰ Op basis van Boonekamp en Jeeninga, 1999, t.b.v. Milieubalans RIVM.

¹¹ De elasticiteiten zijn door het CPB bepaald door, uitgaande van het basisjaar 1990, de parameters in NEMO zodanig aan te passen dat alle in ICARUS opgenomen energiebesparende technologieën op de meest efficiënte wijze worden ingezet, bij verschillende energieprijzen.

Uit de informatie van producenten van witgoedproducten voor de consumentenmarkt blijkt dat het gemiddelde prijsverschil tussen efficiënte en 'gewone' apparaten ook rond 20% ligt. Voor de meeste apparaten geldt echter dat de apparaten met een zogenoemd B- of zelfs C-label voor energiegebruik steeds minder in de winkel verschijnen en volledig verdrongen worden door A-label apparaten.

Het model is zeer ongevoelig voor de waarde van δ .

2.5 Aandeel van de vaste en variabele kosten in de kostprijs van energiefuncties (v en w)

We willen weten hoe de investeringen in energie-gerelateerde functies zich verhouden tot het energiegebruik van die functies. Omdat er geen gegevens zijn, noch over energie-gerelateerde investeringen, noch over het energiegebruik van deze investeringen, geven we een benadering van deze verhouding.

Het aandeel van de vaste kosten in de totale kostprijs is als volgt ingeschat op macro-niveau:

- We bepalen de verhouding tussen investeringen en energiegebruik voor de sector bedrijfsleven en voor de huishoudens. We veronderstellen dat de gevonden waarden representatief zijn voor de verhouding op macro-niveau.
- Bedrijfsleven:
 - Voor de vaste kosten nemen we de investeringen in het bedrijfsleven minus de investeringen in woningen¹². We veronderstellen dat alle investeringen, behalve die in woningen, energie-gerelateerd zijn.
 - De variabele energiekosten berekenen we aan de hand van de gebruikscijfers voor gas en elektra in lopende basisprijzen (1995). Deze zijn gecorrigeerd voor het niet-energetisch gebruik¹³.
 - Voor de periode 1993-1997 is het aandeel van de vaste en variabele kosten nagenoeg gelijk¹⁴.
- Huishoudens:
 - Voor de huishoudelijke consumptie is de verhouding tussen vaste en variabele kosten berekend voor elektrische functies, gasfuncties en voor motorbrandstoffen, alsmede voor het totaal hiervan.
 - Voor de vaste kosten van elektrische functies zijn de investeringen in grote en kleine huishoudelijke apparaten meegenomen, alsmede investeringen in kantoorapparatuur, audio-visuele apparatuur en verlichtingsartikelen. Bij gasfuncties zijn de vaste kosten de kosten van gasapparatuur¹⁵. Bij de motorbrandstoffen zijn het de investeringen in personenauto's.
 - De variabele energiekosten zijn de consumptieve uitgaven aan elektriciteit, gas, respectievelijk motorbrandstoffen.
 - Voor de periode 1985-1997 varieert de verhouding tussen vaste en variabele kosten licht. In tabel 2 is een overzicht van de gemiddelden gegeven.

¹² We corrigeren deze getallen met behulp van een nettofactor tot netto-investeringen. Bron: CBS, tabel G29, Nationale Rekeningen.

¹³ Met behulp van CBS, Nederlandse Energiehuishouding, 1995.

¹⁴ 49% vast en 51% variabel in 1993 tot en met 1995; 47% vast en 53% variabel in 1996 en 1997.

¹⁵ Berekend op basis van de uitgaven aan aardgasfuncties in 1995; met behulp van de producentenprijsindex voor CV's zijn de uitgaven voor andere jaren berekend.



Tabel 2 Gemiddelde aandeel van de vaste en variabele kosten in de totale kostprijs van energiefuncties

	Aandeel vaste kosten	Aandeel variabele kosten
<i>Macro</i>	48%	52%
Industrie	48%	52%
Consumenten (totaal)	47%	53%
Waarvan:		
Elektrische functies	67%	33%
Gasfuncties	2%	98%
Personenvervoer	53%	47%

Het blijkt dat de verhouding tussen vaste en variabele kosten over de jaren heen weinig fluctueert, en dat het aandeel van de vaste en variabele kosten ongeveer gelijk is voor de industrie en de consumenten, alsmede op macro-niveau.

2.6 Inkomenselasticiteit van het functiegebruik (β)

Omdat er geen gegevens zijn over de inkomenselasticiteit van het functiegebruik, is de waarde berekend met behulp van het model. Zie bijlage A voor een onderbouwing van de wijze waarop dit is gedaan. De resulterende waarde is 1,1.

2.7 Kostprijselasticiteit van het functiegebruik (χ)

Omdat er geen gegevens zijn over de kostprijselasticiteit van het functiegebruik, is de waarde berekend met behulp van het model. Zie bijlage A voor een onderbouwing van de wijze waarop dit is gedaan. De resulterende waarde is -0,3.

2.8 Relatieve verandering van de vraag naar energiedragers (E)

Gegevens over de nationale vraag naar energiedragers ontleen we aan het CBS¹⁶. Het betreft het totaalverbruik binnenland. Dit is inclusief het niet-energetisch gebruik, en niet gecorrigeerd voor de temperatuur.

In de periode 1982-1997 is het totale binnenlandse verbruik met gemiddeld 1,5% per jaar toegenomen.

2.9 Relatieve verandering van het inkomen (Y_{aut})

Als indicator voor de ontwikkeling van het inkomen dat op nationaal niveau beschikbaar is, nemen we het Bruto Binnenlands Product (BBP). Dit geeft het totaal aan toegevoegde waarde aan dat bedrijven op Nederlands grondgebied genereren¹⁷. Het BBP komt qua systeemgrenzen overeen met gegevens over het nationale energiegebruik.

¹⁶ Energiemonitor 1999.

¹⁷ Dit is inclusief de toegevoegde waarde van buitenlandse bedrijven in Nederland. Het Bruto Nationaal Product (BNP) geeft daarentegen de toegevoegde waarde weer van alle Nederlandse bedrijven, ook die in het buitenland gevestigd zijn.

Gegevens over de ontwikkeling van het BBP zijn ontleend aan het CBS. In de periode 1982-1997 is het BBP gemiddeld met 2,6% per jaar toegenomen.

2.10 Relatieve verandering van de efficiency (N_{aut})

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 besparingseffecten¹⁸. Voor huishoudens zijn veranderingen in de huishoudgrootte en veranderingen in het apparatenbezit structureffecten, de rest is besparing¹⁹. Over de periode 1986-1995 bedroeg het besparings-effect 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 ontwikkeling²⁰.

In de periode 1982-1997 is de energie-efficiency per fysieke eenheid (per kilogram product bijvoorbeeld) naar inschatting met gemiddeld circa -1,6 tot -2,1% per jaar verbeterd²¹. Het gaat hierbij om technische verbeteringen, terwijl veranderingen in de prestatie van het apparaat en de gebruikstijd of penetratie hier niet onder vallen²².

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 efficiency-effect (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.

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

¹⁸ Groot en Koopmans in: Energiemonitor 1998/4, CBS.

¹⁹ Jeeninga en Van Hilten, 1999.

²⁰ Ibid.

²¹ 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.

²² Boonekamp en Jeeninga, 1999, ten bate van Milieubalans RIVM.



dat berekend wordt door het ECN hiervoor als trend genomen, waarbij uitgegaan wordt van een gemiddelde van $-1,8\%$ per jaar.

2.11 Relatieve verandering van de vaste kosten ($Q_{\text{vast,aut}}$)

De mate waarin de vaste kosten relatief duurder of goedkoper worden zijn te bepalen door de prijsindices van alle relevante apparaten te bepalen.

Voor de industrie betekent dit dat we moeten nagaan hoe het prijspeil van de energiegerelateerde investeringen verloopt. Dit hebben we benaderd door de prijsindex van *alle* investeringsgoederen in de industrie te nemen²³. Daaruit blijkt dat het prijspeil van de investeringsgoederen in de industrie in reële termen met ongeveer $1,3\%$ per jaar is gestegen in de periode 1993-1997. Afgezet tegen de toename van het productievolume (gemiddeld 3% per jaar in deze periode), resulteert een afname van de kostprijs van energiefuncties met globaal $-1,5\%$ per jaar (per eenheid energiefunctie)

Voor de consumenten gaan we uit van de prijsindex van grote huishoudelijke apparaten, die is afgenomen van 100 naar 95 in de periode 1995-1998, een jaarlijkse daling in reële termen van bijna $-1,5\%$. Dit is een prijsdaling per apparaat, niet per functie-eenheid.

Omdat op grond van de bovenstaande cijfers de macro-ontwikkeling van de kostprijs zeer globaal te bepalen is, en het model redelijk gevoelig is voor de waarde van de kostprijsontwikkeling, is gewerkt met een voorzichtige aanname: -1% per jaar.

2.12 Aandeel van schone energie in het totale gebruik van energiedragers (D_{aut})

Gegevens over het aandeel van schone energie in de totale energievoorziening zijn schaars. In 1988 was de hoeveelheid duurzame energie $26,2$ PJ, van een totaal verbruik van 2654 PJ (inclusief afvalverbranding), hetgeen ongeveer 1% van het totaal is. In 1996 was dit $47,7$ PJ op een totaalverbruik van 3.061 PJ, hetgeen $1,6\%$ van het totaal is²⁴.

Dit komt ruwweg overeen met hetgeen in de Energiemonitor 1999-IV staat: het gebruik van duurzame energie heeft in 1998 ruim 1.200 m³ aardgas bespaard, hetgeen overeenkomt met $1,3\%$ van het energieverbruik.

We veronderstellen een ontwikkeling van duurzame energie van $0,5\%$ in 1982 tot $1,5\%$ in 1997.

2.13 Huidige prijs van schone energie ten opzichte van die van fossiel (P_{fos})

Voor duurzame en schone fossiele energie geven we een indicatie voor de prijs ten opzichte van 'gewone' fossiele energie.

²³ CBS, diverse Maandstatistieken, tabel 3.1.1.

²⁴ CBS, 1998; ECN, 1998 (Monit).

Schoon fossiel:

Elektriciteit opgewekt uit aardgas gecombineerd met de opslag van CO₂ is circa 6% duurder dan zonder CO₂-opslag²⁵. Voor elektriciteit opgewekt uit steenkool is dit circa 20%²⁶. Gemiddeld zijn deze twee typen schoon fossiele energie 12% duurder dan het conventionele type.

Duurzame energie:

Duurzame elektriciteit uit P.V. is momenteel circa 9 keer duurder dan elektriciteit uit aardgas. Elektriciteit uit wind en biomassa hebben ongeveer 1,5 keer de prijs van elektriciteit uit aardgas²⁷. Waterstof geproduceerd uit hernieuwbare bronnen heeft momenteel een prijs die circa vijf keer zo hoog is als de prijs van aardgas²⁸.

De eindgebruikersprijs voor aardgas uit biomassa is momenteel circa drie keer zo hoog als fossiel aardgas²⁹.

Op basis van bovenstaande gegevens is de prijs van duurzame energie voor eindgebruikers grofweg tussen 1,5 en circa 9 keer de prijs van fossiele energie. We veronderstellen dat de prijs van duurzame energie 2,5 keer de prijs is van fossiele. Dit is een arbitraire aanname. Ter vergelijking: wanneer elektra voor een derde gedeelte wordt verkregen uit respectievelijk biomassa, p.v., en wind, zou de prijs vier keer zo hoog zijn als elektra uit aardgas.

Voor de analyse over de periode 1982-1997 heeft de inschatting van de prijs van schone energie zeer weinig invloed omdat het aandeel van dit type energie in het totaal gering is. Er is daarom uitgegaan van de aanname dat de prijs van schone energie 2,5 keer duurder is dan die van fossiel.

2.14 Jaarlijkse verandering van de prijs van fossiele energie (p)

De prijs van fossiele energie hebben we bepaald door van alle fossiele energiebronnen de gebruikte hoeveelheid en de prijs te bepalen. Deze prijzen zijn inclusief heffingen, accijnzen en BTW³⁰.

We hebben de volgende categorieën behandeld. Dit was nodig omdat de prijs van de energiedragers verschilt voor verschillende gebruikers.

- aardgas voor kleinverbruikers
- aardgas voor blok-/wijkverwarming
- aardgas voor tuinders
- aardgas voor grootverbruikers (exclusief overige directe leveringen)
- aardgas voor grootverbruikers (overige directe leveringen)
- elektriciteit voor kleinverbruik
- elektriciteit voor grootverbruik
- motorbrandstoffen (groot- en kleinverbruik tezamen)

²⁵ Eindverbruikersprijzen circa: 54 gulden per GJ met CO₂-opslag en 51 gulden per GJ zonder CO₂-opslag. Bron: Roos, e.a., 1998.

²⁶ Eindverbruikersprijzen: circa 56 gulden per GJ met CO₂-opslag en 47 gulden per GJ zonder CO₂-opslag. Bron: idem.

²⁷ Circa 75 gulden per GJ.. Bron: idem.

²⁸ Circa 54 gulden per GJ voor waterstof, en circa 10 gulden per GJ voor aardgas. Bron: idem.

²⁹ 30 gulden per GJ tegenover 10 gulden per GJ voor gewoon aardgas.

³⁰ De cijfers over kale prijzen en heffingen voor aardgas en elektriciteit komen van Energie-Ned. Voor de motorbrandstoffen komen de cijfers over kale prijzen, heffingen en accijnzen uit de Kostenbarometer voor Verkeer en Vervoer, versie 3.0 van AVV. De BTW-tarieven die we meegenomen hebben zijn door het Ministerie van Financiën geleverd.



Uit de verbruikscijfers³¹ en prijzen hebben we een gemiddelde prijs (voor ieder jaar) per megajoule bepaald. Deze berekening leidt tot de volgende conclusie.

De *reële* prijs van fossiele energie is in de zichtperiode 1982-1997 afgenomen van *f* 3,87 tot *f* 3,25 per megajoule, hetgeen overeenkomt met een *daling* van -1,1% per jaar.

2.15 Jaarlijkse verandering van de prijs van schone energie (s)

In de zichtperiode 1982-1997 is er nagenoeg geen *schone fossiele energie* ingezet in Nederland. De ontwikkeling van de prijs ervan over de zichtperiode laten we daarom buiten beschouwing. Over de te verwachte ontwikkeling in de toekomst zijn geen gegevens gevonden.

Er zijn geen gegevens gevonden over de ontwikkeling van de prijs van *duurzame energie* over de zichtperiode. Mede gezien het feit dat de absolute hoeveelheid duurzame energie zeer beperkt was, veronderstellen we dat de prijs van duurzame energie constant is gebleven in de zichtperiode.

Gegevens over verwachte prijsontwikkelingen in de toekomst zijn ontleend aan Roos e.a., 1998. Hierin worden de volgende gemiddelde prijsontwikkelingen (voor eindgebruikers) in de komende vijftig jaar verwacht:

PV:	-2,3% p.j.
elektriciteit uit biomassa:	+0,2% p.j.
elektriciteit uit wind:	-0,1% p.j.
waterstof uit hernieuwbare bronnen:	-1,0% p.j.

Bij een evenredige verdeling tussen p.v., biomassa en wind als bron voor duurzame elektriciteit bedraagt de gemiddelde afname van de prijs van duurzame energie met -1,3% per jaar.

Bij de analyse van de beleidseffecten in de toekomst gaan we uit van een prijsdaling met gemiddeld -1% per jaar voor *schone energie* (dus schoon fossiel en duurzaam tezamen).

³¹ Cijfers van EnergieNed, aangevuld met CBS-cijfers over de 'overige directe leveringen' (van aardgas) en RIVM-cijfers voor de motorbrandstoffen.



3 Kwantificering modellering elektriciteitsverbruik huishoudens

In tabel 3 staan de waarden die we voor de elasticiteiten, coëfficiënten en parameters hebben gebruikt in de modellering van de case elektrische functies van huishoudens. De waarden van de parameters betreffen de periode 1987-1997. Ze zijn gedeeltelijk gebaseerd op de resultaten van de analyse van de elektrische functies; deze zijn in de tabel aangegeven door een * achter de betreffende waarde. De waarden die met behulp van de overige waarden zijn berekend, zijn aangegeven met **.

Tabel 3 Waarden van elasticiteiten, coëfficiënten en autonomen voor modellering elektriciteitsverbruik huishoudens (periode 1987-1997)

Elasticiteit of coëfficiënt	Symbool	Waarde
Inkomenselasticiteit van het energiegebruik	ϵ	1,3
Prijselasticiteit van de efficiency voor de energieprijs	α	-0,3
Prijselasticiteit van het energiegebruik voor de energieprijs	η	-0,44
Effect van de efficiency op de vaste component van de kostprijs van energiefuncties	δ	0,2
Aandeel van de vaste kosten in de kostprijs van energiefuncties	v	0,5*
Aandeel van de variabele kosten in de kostprijs van energiefuncties	w	0,5*
Inkomenselasticiteit van het functiegebruik	β	1,3*
Kostprijselasticiteit van het functiegebruik (kostprijs=kostprijs van energiefuncties)	γ	-0,4**
Autonomen	Symbool	Waarde
Relatieve verandering van het inkomen (reëel besteedbaar inkomen per persoon)	Y_{AUT}	1,35% p.j.
Relatieve verandering van de efficiency	N_{AUT}	1,4% p.j.*
Relatieve verandering van de vaste kosten van energiefuncties	$Q_{VAST,AUT}$	-2,5% p.j.*
Aandeel van schone energie in het totale gebruik van energiedragers	D_{AUT}	1,5% in 1987
Relatieve verandering van het aandeel schone energie in het totale gebruik van energiedragers	D^0_{AUT}	3% in 1997
Huidige prijs van schone energie ten opzichte van die van fossiel	P_{FOS}	2,5
Jaarlijkse verandering van de prijs van fossiele energie	P	-0,6% p.j.
Jaarlijkse verandering van de prijs van schone energie	S	0% p.j.

Hierna volgt een onderbouwing van deze cijfers.

3.1 Inkomenselasticiteit van het energiegebruik (ϵ)

De inkomenselasticiteit van het energiegebruik is verondersteld 1 te zijn, op basis van de inkomenselasticiteit die door het CPB wordt gehanteerd op macro-niveau.

3.2 Prijselasticiteit van het elektriciteitsverbruik en van de efficiency voor de energieprijzen (η en α)

De prijselasticiteit van het elektriciteitsverbruik ontleen we aan het CPB, NEMO³². De lange termijn prijselasticiteit voor elektriciteit bedraagt $-0,44$. Hierin is een effect op de aanwezigheid van elektrische apparaten inbegrepen, hetgeen betekent dat behalve een efficiency-effect tevens een effect op de functievraag is meegenomen. Deze elasticiteit is dus zo volledig als mogelijk (zie paragraaf 2.3).

De prijselasticiteit van de efficiency is ontleend aan de Stuurgroep Regulerende energieheffingen, waar de waarde $-0,3$ genoemd wordt als onderwaarde van de marge $-0,3$ tot $-0,45$ ³³. In een aantal onderzoeken die hieraan ten grondslag liggen wordt een effect op de functievraag wel meegenomen, in een aantal niet. Omdat de prijselasticiteit van de efficiency alleen het effect op de efficiency wil meenemen, gaan we, als schatting, uit van de ondergrens.

3.3 Effect van de efficiency op de vaste component van de kostprijs van energiefuncties (δ)

Omdat geen statistieken voorhanden zijn over het prijsverschil tussen energie-efficiënte en 'gewone' elektrische huishoudelijke apparaten, is een inschatting gemaakt op basis van telefonische informatie van witgoedfabrikanten.

Zoals aangegeven in paragraaf 2.4 ligt het prijsverschil voor elektrische huishoudelijke apparaten tussen de energie-efficiënte en 'gewone' types op zo'n 20%. Hierbij moeten we opmerken dat de 'gewone' types steeds meer uit de markt verdwijnen en dus neemt het prijsverschil autonoom af, tenzij nog efficiëntere apparaten op de markt komen die duurder zijn dan de huidige A-labels.

3.4 Aandeel van de vaste en variabele kosten in de kostprijs van energiefuncties (v en w)

Bij de door ons onderzochte elektrische functies varieert het aandeel van de elektriciteitskosten in de totale kosten grofweg tussen 15% en 85%. Voor vier van de tien functies was het aandeel 40 tot 50%.

In paragraaf 1.2.4 is beschreven dat via een macro-benadering het aandeel elektriciteitskosten voor elektrische functies circa 50% bedraagt.

Op grond van bovenstaande gaan we uit van een aandeel van 50% aan elektriciteitskosten in de totale kosten. De ontwikkeling van de kostprijs krijgt een variatie van plus of min 7% wanneer het aandeel van de elektriciteitskosten 80%, respectievelijk 20% bedraagt. De afwijking is dus relatief gering.

³² Genoemd in A. de Groot, 1998 (p.14).

³³ Stuurgroep Regulerende Energieheffingen, 1992.

3.5 **Inkomenselasticiteit van het functiegebruik (β)**

Op basis van een studie van het CPB is de inkomenselasticiteit van het functiegebruik van elektrische functies ingeschat³⁴. De elasticiteit in de studie van het CPB is niet constant, maar afhankelijk van de consumptie. De waarde varieert tussen 1 en 1,5. Dit is als basis genomen voor ons onderzoek, met een gemiddelde van 1,3.

3.6 **Kostprijselasticiteit van het functiegebruik (γ)**

De kostprijselasticiteit van het functiegebruik is berekend met behulp van het model. De waarde is $-0,4$.

3.7 **Relatieve verandering van de vraag naar energiedragers (E)**

Gegevens over het elektriciteitsverbruik van huishoudens per capita ontleen we aan het ECN (Monit). In de periode 1987-1997 is dit met gemiddeld 2% per jaar toegenomen.

3.8 **Relatieve verandering van het inkomen (Y_{aut})**

Als indicator voor de ontwikkeling van het inkomen nemen we het besteedbaar inkomen per capita, ontleend aan het CBS. In de periode 1987-1997 is dit met gemiddeld 1,4% per jaar toegenomen.

3.9 **Relatieve verandering van de efficiency (N_{aut})**

In de analyse van de huishoudelijke elektrische functies is de efficiency gemiddeld met 0 tot $-2,9\%$ per jaar verbeterd in de periode 1987-1997 (uitgedrukt in het energiegebruik per functie-eenheid). Zie tabel 3 uit het hoofdrapport.

We gaan in de modellering uit van het gemiddelde: $-1,5\%$ per jaar.

3.10 **Relatieve verandering van de vaste kosten ($Q_{\text{vast,aut}}$)**

In de analyse van de huishoudelijke functies is de kostprijs van energiefuncties gemiddeld tussen $-1,3$ en $-2,0\%$ per jaar gedaald in de periode 1987-1997. Zie hoofdstuk 5 van het hoofdrapport (tabel 3).

We gaan in de modellering uit van het gemiddelde: $-1,7$

3.11 **Aandeel van schone energie in het totale gebruik van energiedragers (D_{aut})**

We veronderstellen een ontwikkeling in het aandeel schone energie van 0,8% in 1987 tot 1,5% in 1997.

³⁴ Brink, 1997.

3.12 Jaarlijkse verandering van de prijs van fossiele energie (p)

Deze verandering is voor de kleinverbruiker anders dan voor alle fossiele energie, met name door de kortingen die grootverbruikers kunnen bedingen op de prijzen en door de lagere heffingen die grootverbruikers over fossiele energie betalen.

De prijsverandering voor de kleinverbruikers geven we hieronder voor elektriciteit en aardgas separaat³⁵. De prijzen van motorbrandstoffen hebben we niet verder uitgesplitst naar groot- en kleinverbruik, omdat dit geen onderwerp was van een van de behandelde cases.

De reële elektriciteitsprijsverandering over de periode 1987 – 1997 was jaarlijks gemiddeld –0,6%. Voor de aardgas was de reële relatieve prijsverandering jaarlijks –0,7%.

3.13 Jaarlijkse verandering van de prijs van schone energie (s)

In de richtperiode 1987-1997 is er geen *schone fossiele* elektriciteit aangeboden aan kleinverbruikers. De ontwikkeling van de prijs ervan over de zichtperiode laten we daarom buiten beschouwing.

Er zijn geen gegevens gevonden over de ontwikkeling van de prijs van *duurzame* elektriciteit over de richtperiode.

Mede gezien het feit dat de absolute hoeveelheid duurzame elektriciteit zeer beperkt was, veronderstellen we dat de prijs van schone energie constant is gebleven in de zichtperiode.

³⁵ De berekeningen zijn gebaseerd op verbruikscijfers en informatie over kale prijzen en heffingen van EnergieNed, aangevuld met BTW-tarieven van het Ministerie van Financiën.

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

Bijlage C

Elektrische functies in huishoudens

Opgesteld door: J. van Swigchem
B.A. Leurs



Inhoud

1	Inleiding	43
2	Methodiek	45
3	Functies koelen en vriezen	49
3.1	Functiegebruik koelen en vriezen	49
3.2	Efficiency van koelen en vriezen	51
3.3	Kostprijs van koelen en vriezen	52
3.4	Elektriciteitsverbruik aan koelen en vriezen	54
3.5	Interpretatie van de resultaten – functies koelen en vriezen	55
4	Functie reinigen	59
4.1	Wassen van wasgoed	59
4.1.1	Functiegebruik van wasgoed wassen	59
4.1.2	Efficiency van wasgoed wassen	62
4.1.3	Kostprijs van wasgoed wassen	63
4.1.4	Samenvatting resultaten van wassen van wasgoed	65
4.2	Drogen van wasgoed	65
4.2.1	Functiegebruik van wasgoed drogen	65
4.2.2	Efficiency van wasgoed drogen	67
4.2.3	Kostprijs van wasgoed drogen	68
4.2.4	Samenvatting resultaten van drogen van wasgoed	69
4.3	Reinigen van serviesgoed	70
4.3.1	Functiegebruik van reinigen van serviesgoed	70
4.3.2	Efficiency van reinigen van serviesgoed	72
4.3.3	Kostprijs van reinigen van serviesgoed	73
4.3.4	Samenvatting resultaten reinigen van serviesgoed	75
4.4	Stofzuigen	75
4.4.1	Functiegebruik van stofzuigen	75
4.4.2	Efficiency van stofzuigen	77
4.4.3	Kostprijs van stofzuigen	77
4.4.4	Samenvatting resultaten van stofzuigen	78
4.5	Elektriciteitsverbruik aan reinigen	79
4.6	Interpretatie van de resultaten - functie reinigen	80
5	Functie verlichting	83
5.1	Functiegebruik verlichting	83
5.2	Efficiency van verlichting	86
5.3	Kostprijs per lumenuur	87
5.4	Elektriciteitsverbruik aan verlichting	89
5.5	Interpretatie van de resultaten - functie verlichting	89
6	Overzicht van de resultaten	93
7	Representativiteit van de onderzochte functies	95

1 Inleiding

In deze bijlage is de analyse van de volgende elektrische huishoudelijke functies beschreven: koelen, reinigen en verlichting. Deze nemen gezamenlijk ruim 50% van het huishoudelijk elektriciteitsverbruik voor hun rekening¹. Ze zijn vervolgens gespecificeerd in totaal tien functies.

De bijlage is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt de gevolgde methodiek beschreven. In de hoofdstukken 3, 4 en 5 worden achtereenvolgens de functies koelen, reinigen en verlichting besproken. De opbouw van deze hoofdstukken is identiek; de volgende zaken worden per functie besproken:

- de ontwikkeling van het functiegebruik en een analyse van de factoren die deze ontwikkeling bepalen;
- de ontwikkeling van de energie-efficiency voor de betreffende functie;
- een analyse van de kostprijs van de betreffende functie;
- de ontwikkeling van het elektriciteitsgebruik voor de betreffende functie;
- interpretatie van de resultaten.

¹ Op basis van BEK '97.



2 Methodiek

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 staan². De prestatie van deze apparaten, kan worden geabstraheerd tot tien functies: verlichting, audio/video/communicatie, hobby, persoonlijke verzorging, binnenhuisklimaat, reiniging, verwarming en warm water, koken/keukenfuncties en koelen³. In het kader van dit onderzoek zijn drie functies onderzocht, die tezamen verantwoordelijk zijn voor circa 50% van het elektriciteitsverbruik in 1997: koelen/vriezen, reinigen en verlichting. Deze zijn vervolgens verder gespecificeerd in tien subfuncties, die in Tabel 1 zijn opgesomd, tezamen met de gehanteerde eenheid voor het functiegebruik⁴. De tien subfuncties zijn verantwoordelijk voor nagenoeg 100% van het elektriciteitsverbruik van reinigen, koelen en verlichting.

Tabel 1 Overzicht van de onderzochte elektrische functies en de eenheden voor het functiegebruik

Elektrische functies	Eenheid voor het functiegebruik
Reinigen:	
Wassen van wasgoed (in wasmachine)	Kilogram wasgoed
Drogen van wasgoed (in wasdroger)	Kilogram wasgoed
Reinigen van serviesgoed (in vaatwasmachine)	Aantal couverts
Stofvrij maken van vloeroppervlak (met stofzuiger)	Aantal uren stofzuigen met een bepaald vermogen
Koelen/vriezen:	
Gekoeld bewaren van voedingsmiddelen ⁵	Liters koelruimte
Bevroren bewaren van voedingsmiddelen in een vrieskast/-kist	Liters vriesruimte
Verlichting:	
Licht van gloeilampen	Lumenuur
Licht van TL-lampen	Lumenuur
Licht van spaarlampen	Lumenuur
Licht van halogeenlampen	Lumenuur

² BEK 1997.

³ BEK 1997.

⁴ Voor koelen zijn drie koelapparaten onderzocht. De resultaten zijn samengevoegd tot de functie 'koelen' omdat substitutie tussen de apparaten een substantiële rol speelt.

⁵ Koelen omvat het bewaren van voedingsmiddelen in een 2-deurs koelkast, in een koelkast met vriesvak en in een koelkast zonder vriesvak. Uit oogpunt van eenvoud is het vriesvak in een koelkast niet toegerekend aan de functie vriezen.

Per subfunctie zijn de volgende ontwikkelingen over de periode 1987-1997 in kaart gebracht:

- het functiegebruik (per persoon);
- de reële kostprijs (per functie-eenheid);
- de efficiency (elektriciteitsverbruik per functie-eenheid);
- het elektriciteitsverbruik (per persoon).

Elektriciteitsverbruik

Gegevens over het elektriciteitsverbruik van de huishoudelijke elektrische functies zijn ontleend aan EnergieNed (BEK van verschillende jaren). De cijfers over de gebruiksfrequentie en het verbruik per programma, en in mindere mate de overige basisgegevens, die door EnergieNed zijn gebruikt om het elektriciteitsverbruik per apparaat te berekenen, wijken echter af van de resultaten in andere onderzoeken die door ons gebruikt zijn voor de berekening 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 efficiency-ontwikkeling 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 elektriciteitsverbruik ingeschat⁶. Voor een aantal functies is dientengevolge het elektriciteitsverbruik 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).

Ontwikkelingen per persoon

De ontwikkelingen van de bovengenoemde grootheden zijn niet per huishouden, maar *per persoon* in kaart gebracht. Dit is gedaan om het effect van gezinsverdunning in de analyse mee te nemen. In de afgelopen decennia is de omvang van een huishouden immers gemiddeld kleiner geworden als gevolg van onder andere de vergrijzing, het langer zelfstandig wonen van ouderen, en een verandering van het gemiddeld aantal kinderen per huishouden. Momenteel bestaat circa 33% van de huishoudens uit alleenstaanden⁷. Gezinsverdunning leidt dus tot een 'verdeling' van het elektriciteits- en functiegebruik per huishouden over een steeds kleiner aantal personen, waardoor het gebruik per persoon sneller toeneemt dan dat per huishouden. We veronderstellen daarbij dat het elektriciteitsverbruik per persoon evenredig toeneemt met de gemiddelde afname van de huishoudgrootte, wat betekent dat het elektriciteitsverbruik per huishouden onafhankelijk is van het aantal personen per huishouden. In realiteit zal dit waarschijnlijk niet het geval zijn: het is aannemelijk dat het gemiddeld elektriciteitsverbruik per

⁶ Hierbij zijn we uitgegaan van de absolute waarden van Energiened uit 1997, en hebben het energiegebruik in 1987 bekend.

⁷ Boonekamp en Jeeninga, 1999.



huishouden afneemt wanneer het aantal personen per huishouden vermindert.

Verwerking van de resultaten

De resultaten van de genoemde tien functies zijn op de volgende wijze geabstraheerd:

- De koelfuncties zijn geabstraheerd tot 'koelen' en 'vriezen'. 'Koelen' omvat de 2-deurs koelkast, de koelkast met vriesvak en die zonder vriesvak. 'Vriezen' is het bevroren bewaren van voedingsmiddelen in een vrieskast/-kist. De samenvoeging van de verschillende wijzen van koelen tot één koelfunctie is gedaan om substitutie-effecten zo veel mogelijk uit te sluiten.
- De resultaten van de tien functies zijn geabstraheerd tot totalen voor de functies reinigen, verlichting en koelen/vriezen, en voor het totaal aan onderzochte elektrische functies. Het gaat om gewogen totalen waarbij het elektriciteitsverbruik per functie en de funktiekosten (beide in 1997) gebruikt zijn als weegfactoren⁸. Omdat de eenheden van de functies verschillen, zijn de totalen berekend met behulp van indices.
- Op basis van de resultaten is een indeling gemaakt naar 'oude' functies (die al in nagenoeg alle huishoudens worden toegepast) en 'nieuwe' functies (die relatief nieuw zijn in de huishoudens en waarvan het gebruik in opmars is).
- Op het niveau van de afzonderlijke functies (en geabstraheerd voor 'oude' en 'nieuwe' functies) is gekeken of de ontwikkelingen van het functiegebruik en van de kostprijs ondersteunen dat er een prijseffect werkzaam is. Dit is gedaan op basis van een kwalitatieve redenering en door een kwantitatieve inschatting te maken van het inkomens- en prijseffect.

De resultaten van de onderzochte functies (verantwoordelijk voor 50% van het huishoudelijk elektriciteitsverbruik) worden representatief geacht voor het totaal aan elektrische functies. Een onderbouwing hiervoor, aan de hand van de resultaten, staat in hoofdstuk 7 van deze bijlage.

De nieuwheid van een analyse met energiefuncties als analysekader brengt met zich mee dat er weinig pasklare statistische gegevens zijn. Dit heeft de volgende consequenties gehad:

- er zijn vele verschillende bronnen gebruikt;
- de zichtperiode van dit onderzoek is relatief kort: de periode 1987-1997; omdat BEK-rapporten een belangrijke bron zijn, en deze vanaf 1986 beschikbaar zijn, kon de zichtperiode niet worden verlengd. Waar mogelijk zijn specifieke trends over een langere periode aangegeven. De berekeningen zijn echter over het betreffende decennium verricht;
- beschikbaar materiaal betrof verschillende zichtperiodes. Op basis van hetgeen beschikbaar was, is waar nodig een inschatting gemaakt van de ontwikkeling voor de zichtperiode van dit onderzoek (expert judgement);
- er is zo nodig gewerkt met peiljaren omdat geen consistente tijdreeksen samen te stellen waren.

⁸ De weegfactor geeft een indicatie voor het aandeel van de betreffende functie in het totaal. Het functiegebruik is gewogen met behulp van het elektriciteitsverbruik per functie in 1997, de kostprijs van energiefuncties met de totale funktiekosten die per persoon in 1997 aan de betreffende functie werden uitgegeven. Er is gekozen voor 1997 omdat daardoor het huidige gewicht van de functie wordt uitgedrukt, hetgeen van belang is bij het doortrekken van bevindingen naar de toekomst bij het zoeken naar aangrijpingspunten voor beleid.



3 Functies koelen en vriezen

3.1 Functiegebruik koelen en vriezen

Om het functiegebruik voor koeling te analyseren, gaan we een stap verder dan het elektriciteitsverbruik van de koel- en vriesapparatuur. Het gaat de consument uiteindelijk om het gekoeld en/of bevroren houden van voedingsmiddelen. De relevante vraag is: hoeveel voedingsmiddelen worden er per persoon gemiddeld gekoeld dan wel bevroren bewaard? Neemt deze hoeveelheid in de loop der tijd toe? En hoeveel?

Gegevens over de ontwikkeling van de hoeveelheid voedingsmiddelen die in koelapparatuur worden bewaard, ontbreken echter over de zichtperiode. Om de ontwikkeling ervan te benaderen, is onderzocht hoe de gemiddelde hoeveelheid koel-/vriesruimte per persoon zich ontwikkelt. Met andere woorden: hoeveel liter koel-/vriesruimte heeft men gemiddeld per persoon tot zijn of haar beschikking om hierin voedingsmiddelen te bewaren? En welke ontwikkeling is hierin te zien over het afgelopen decennium?

Het aantal liters koel- en vriesruimte per persoon wordt bepaald door de volgende factoren:

- penetratie van koel- en vriesapparatuur in de Nederlandse huishoudens;
- gemiddelde inhoud van koel- en vriesapparatuur;
- aantal personen per huishouden.

De eerste twee factoren bepalen het aantal liters koel-/vriesruimte per huishouden; met behulp van de trend in de gezinsverdunding wordt dit omgerekend naar het aantal liters koel-/vriesruimte per persoon. In tabel 2 staat een overzicht van de factoren die het functiegebruik bepalen, per type apparatuur.

Tabel 2 Functiegebruik koelen en vriezen van voedingsmiddelen p.p.p.j. over de periode 1987-1997, voor vier apparaattypen

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling (% p.j.)			
	Functiegebruik (p.p.)	Penetratie	Inhoud van apparatuur	Gezinsverdunding
2-deurs koelkast	+2,0	+2,0	-0,8	+0,8
Koelkast zonder vriesvak	+5,7	+6,7	-1,9	+0,8
Koelkast met vriesvak	-5,0	-3,6	-2,3	+0,8
<i>Gemiddelde koelen</i>	<i>+0,7</i>	<i>+2,3</i>	<i>-1,4</i>	<i>+0,8</i>
<i>Vriezen (diepvrieskast/-kist)</i>	<i>+3,4</i>	<i>+3,8</i>	<i>-1,3</i>	<i>+0,8</i>

Uit de berekeningen blijkt dat het gemiddeld gebruik van de 2-deurs koelkast, de koelkast zonder vriesvak en de diepvrieskast of -kist is toegenomen. Van de koelkast met vriesvak is het functiegebruik afgenomen.

In 1987 was per persoon circa 110 liter ruimte voor koelen en vriezen in gebruik, in 1997 circa 135. Het functiegebruik voor vriezen is sterker gestegen dan dat voor koelen: het aantal liters vriesruimte per persoon is met

3,4% per jaar toegenomen, terwijl het aantal liters koelruimte met 0,7% per jaar is gestegen.

Hieronder volgt een toelichting op de factoren die het functiegebruik bepalen.

Penetratie⁹

Het aantal liters koel- en vriesruimte per persoon neemt evenredig toe met de toenemende penetratie: de koelruimte neemt met 2,3% per jaar toe, de vriesruimte met 3,8% per jaar. In Tabel 3 zijn de penetratiegraden van de verschillende typen apparatuur weergegeven in 1987 en 1997.

Tabel 3 Penetratie van koel- en vriesapparatuur in Nederlandse huishoudens.

	Penetratie in 1987	Penetratie in 1997
2-deurs koelkast	38%	48%
Koelkast zonder vriesvak	17%	34%
Koelkast met vriesvak	46%	30%
Diepvrieskast/-kist	36%	55%

Bron: EnergieNed, BEK '97

Uit Tabel 3 valt af te lezen dat er steeds *meer* en steeds *grotere* koel- en vriesapparatuur wordt aangeschaft:

- de penetratie van de verschillende typen apparatuur neemt toe, met uitzondering van de koelkast met vriesvak (dit type is een 'uitstervend ras');
- in 1997 hadden huishoudens gemiddeld meer dan één koelkast in bezit; koelkasten zonder vriesvak worden bijvoorbeeld in steeds meer huishoudens als tweede koelkast gebruikt;
- er vindt een verschuiving plaats naar de grotere typen koelkast: in 1987 had een kleine 40% van de huishoudens een tweedeurskoelkast; in 1997 is dit een kleine 50%. Voor een deel gaat dit ten koste van de 'gewone' koelkasten met vriesvak.

Gemiddelde inhoud per type

Gemiddeld neemt de inhoud van elk type koelkast in de loop der jaren met circa -1,5% per jaar af (-0,8 tot -2,3% per jaar)¹⁰; voor vriezers is dit -1,3% per jaar. De afname van de inhoud is waarschijnlijk het gevolg van dikkere isolatiewanden¹¹; de omvang van de koelkasten blijft ongeveer gelijk omdat de (inbouw)plaats voor de koelkast veelal standaard is. De ontwikkeling per type koelapparatuur staat weergegeven in Tabel 2. Het aantal liters koel-/vriesruimte neemt als gevolg van de afnemende inhoud evenredig af.

Gezinsverdunding

Het aantal liters koel- en vriesruimte per persoon wordt berekend uit die per huishouden door te corrigeren voor de gezinsverdunding: de afname van de gemiddelde huishoudgrootte met -0,8% per jaar leidt tot een evenredige toename van het aantal liters koel- en vriesruimte *per persoon*.

⁹ Onder penetratie wordt verstaan: het percentage van de Nederlandse huishoudens dat een bepaald apparaat bezit.

¹⁰ Op basis van gegevens uit Consumentengidsen, Energiewijzers en Kemna, 1989.

¹¹ Mondelinge info TNO, S.M. van der Sluis.



3.2 Efficiency van koelen en vriezen

Onder energie-efficiency wordt in deze analyse verstaan: het energiegebruik per functie-eenheid. Voor de functie koelen gaat het om het elektriciteitsverbruik dat nodig is om een liter koel- en vriesruimte op temperatuur te brengen en te houden. Dit verbruik wordt bepaald door:

- het elektriciteitsverbruik per type koelkast¹²;
- de inhoud van de koelkast.

De ontwikkeling van beide factoren in de zichtperiode 1987-1997 is weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Efficiency-ontwikkeling van koel- en vriesapparatuur

	Inschatting van de gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling voor periode 1987-1997 (% p.j.)		
	Efficiency-ontwikkeling per liter koel-/vriesruimte	Elektriciteitsverbruik per apparaat per 24 uur	Inhoud van apparatuur
2-deurs koelkast	-2,1 tot -0,3	-3,1 tot -1,1 ¹³	-0,8
Koelkast zonder vriesvak	-1,0 tot +1,8	-3,1 tot 0 ¹⁴	-1,9
Koelkast met vriesvak	-0,7 tot +1,5	-3,1 tot -0,8 ¹⁵	-2,3
<i>Gemiddelde koelen</i>	<i>-1,3 tot +0,9</i>	<i>-3,1 tot -1,6</i>	<i>-1,4</i>
<i>Vriezen</i>	<i>-3,1 tot -1,1 tot</i>	<i>-4,5 tot -2,5¹⁶</i>	<i>-1,3</i>

Hieronder volgt een toelichting op de beide factoren die de efficiency per liter koel-/vriesruimte bepalen.

Elektriciteitsverbruik per type koelkast.

Op basis van BEK-rapporten en een studie van TNO¹⁷ is een inschatting gemaakt van de gemiddelde ontwikkeling in het elektriciteitsverbruik per koelapparaat in de zichtperiode. De spreiding is vrij groot doordat de in-

¹² Als tijdseenheid is gekozen voor 24 uur omdat dit overeenkomt met hetgeen in BEK wordt gebruikt.

¹³ Ondergrens: BEK-rapporten geven een afname van -1,1% per jaar over de periode 1987-1997. In de periode voor 1987 was dit -1,4% per jaar. Bronnen: BEK-rapporten 1987, 1991, 1995, 1997. Bovengrens: de gemiddelde efficiencyverbetering tussen 1994 en 1998 zoals die door Novem is vastgesteld (Verwoerd, 1999, TNO).

¹⁴ Op basis van BEK-rapporten 1991 (waarin het verbruik in 1980 staat vermeld) en 1997 is het elektriciteitsverbruik van de koelkast zonder vriezer over de periode 1980-1997 nagenoeg constant gebleven. Van Rossum (1991) bevestigt dit voor de jaren tachtig op grond van de Energiewijzer. BEK-rapporten geven een toename van dit elektriciteitsverbruik (dus ontsparing) tussen 1991 en 1997 met gemiddeld +3,5% per jaar. We gaan echter uit van de lange termijn trend als ondergrens. De bovengrens is de gemiddelde efficiencyverbetering tussen 1994 en 1997 zoals die door Novem is vastgesteld (Verwoerd, 1999, TNO).

¹⁵ In de jaren tachtig zijn koelkasten met vriesvak gemiddeld 2 tot 3% per jaar energiezuiniger geworden (BEK 1991). In de periode 1991-1997 geven de BEK-rapporten een constant elektriciteitsverbruik. Een combinatie van de BEK-gegevens over de periode 1980-1990 en die van 1991-1997 geeft een gemiddelde afname van -0,8% per jaar over de periode 1987-1997. Als bovengrens is de gemiddelde efficiencyverbetering tussen 1994 en 1997 zoals die door Novem is vastgesteld (Verwoerd, 1999, TNO).

¹⁶ De diepvrieskast werd in de jaren tachtig gemiddeld 4,5% per jaar energiezuiniger, de vrieskast 2,6 per jaar. BEK rapporten geven een geringe toename van het elektriciteitsverbruik (dus ontsparing) tussen 1991-1997. Omdat de efficiencyverbetering van de jaren tachtig overeen komt met die van de periode 1994-1998 zoals die door Novem is vastgesteld, is deze trend overgenomen voor de zichtperiode.

¹⁷ Verwoerd, 1999.

schatting van de efficiency in beide bronnen aanzienlijk verschilt. Er wordt uitgegaan van de hoogste en laagste waarde uit beide onderzoeken, tenzij er aanleiding is om de BEK-gegevens (gedeeltelijk) niet mee te nemen. Het elektriciteitsverbruik van alle apparaten is afgenomen; die van de tafelmollen het minst snel.

Inhoud van de koelapparatuur

Er is gemiddeld een lichte daling in het aantal liters koel-/vriesruimte per apparaat, gemiddeld met $-1,4\%$ per jaar voor koelen en $-1,3\%$ per jaar voor vriezen. Bij gelijkblijvend energiegebruik per apparaat, betekent deze afname een hoger energiegebruik per liter ruimte.

Elektriciteitsverbruik per liter koel-/vriesruimte

De afname van het elektriciteitsverbruik per apparaat en de afname van de inhoud van apparaten resulteren per saldo in een gelijk blijven of lichte afname van het elektriciteitsverbruik per liter koel-/vriesruimte: per liter koelruimte bedraagt de toename gemiddeld $+0,9$ tot $-1,3\%$ per jaar, per liter vriesruimte $-1,1$ tot $-3,1\%$ per jaar.

3.3 Kostprijs van koelen en vriezen

In deze paragraaf gaan we in op de kostprijs van de energiefunctie koelen/vriezen, hetgeen relevant is omdat deze een verklaring kan geven voor het toenemend functiegebruik.

De reële kostprijs per functie-eenheid wordt uitgedrukt per liter koel-/vriesruimte per jaar (in guldens van 1997). Deze is opgebouwd uit twee elementen:

- vaste kosten: de kosten voor de aanschaf van de koel- en vriesapparatuur, toegerekend aan een liter koel-/vriesruimte;
- variabele kosten: de energiekosten om de apparatuur een jaar lang op temperatuur te houden.

De vaste kosten zijn als volgt berekend:

- aan de hand van gegevens uit Consumentengidsen is het verloop van de nominale prijzen van koel- en vriesapparatuur vastgesteld¹⁸;
- de nominale prijzen zijn met behulp van de CPI gecorrigeerd voor inflatie (guldens van 1997);
- de reële prijzen zijn omgerekend naar de gemiddelde vaste kosten per apparaat per jaar, waarbij uitgegaan is van een levensduur van 12 jaar en een afschrijving van 4% per jaar¹⁹;
- met behulp van de ontwikkeling van de inhoud van koel- en vriesapparaten zijn de gemiddelde kosten per liter koel-/vriesruimte per jaar bepaald.

De variabele kosten zijn de energiekosten om een liter koel- of vriesruimte op temperatuur te brengen en te houden. Deze zijn op de volgende wijze berekend:

¹⁸ Alle testen in de Consumentengids van koel- en vriesapparatuur in de periode 1987-1997 zijn meegenomen.

¹⁹ De levensduur van 12 jaar is de economische levensduur zoals die wordt opgegeven door fabrikant Whirlpool. Onder levensduur wordt verstaan de tijd dat een apparaat gebruikt wordt in (een of meer) huishoudens. Omdat er vanuit wordt gegaan dat het apparaat daarna niet meer in functie is, wordt verondersteld dat de apparatuur na deze periode geen restwaarde meer heeft.



- het elektriciteitsverbruik per type apparaat per jaar (in de zichtjaren) is als basis genomen²⁰;
- met behulp van de ontwikkeling van de inhoud per apparaat is het elektriciteitsverbruik per liter bepaald (bij gelijkblijvend elektriciteitsverbruik per apparaat);
- met behulp van de reële elektriciteitsprijs voor kleinverbruikers zijn voor de betreffende jaren de reële variabele kosten per liter berekend.

In Tabel 5 staat aangegeven hoe deze kosten zich in de zichtperiode van het onderzoek hebben ontwikkeld.

Tabel 5 Ontwikkeling van de reële vaste en variabele kostprijs per liter koel-/vriesruimte in de periode 1987-1997

Type apparatuur	Totale reële kostprijs	Reële vaste kostprijs	Reële variabele kostprijs	Reële kostprijs per liter koel-/vriesruimte in 1997 (gulden van 1997)	Verhouding tussen vaste en variabele kosten
	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per liter koel-/vriesruimte in de periode 1987-1997 (% per jaar)				
2-deurs koelkast	-0,7 tot +0,4	+1,9	-2,7 tot -0,7	1,25	55-45
Koelkast zonder vriesvak	-2,4 tot -1,3	-2,7	-1,8 tot +1,2	1,00	55-45
Koelkast met vriesvak	-1,4 tot -0,4	-1,3	-1,4 tot +0,9	1,25	50-50
<i>Gemiddelde koelen (gewogen)</i>	-1 tot 0	+0,1	-2,8 tot 0	1,17	50-50
<i>Vrieskast/-kist</i>	-2,0 tot -0,9	-0,6	-3,7 tot -1,5	0,90	50-50

De totale reële kostprijs per liter koelruimte is in de periode 1987-1997 ongeveer gelijk gebleven. Hierbij is de ontwikkeling per type apparaat gewogen naar de totale funktiekosten per persoon in 1997. De kostprijs van vriezen is in de zichtperiode met gemiddeld -0,9 tot -2,0% per jaar afgenomen.

In 1997 bedroeg de kostprijs gemiddeld f 1,17 per liter koelruimte en f 0,90 per liter vriesruimte (gulden van 1997).

Hieronder is aangegeven hoe de vaste en variabele kosten zich hebben ontwikkeld.

Vaste kosten

De nominale kosten voor de aanschaf van koel- en vriesapparatuur zijn, met uitzondering van de tweedeurskoelkast, in de periode 1987-1997 gedaald. Gecorrigeerd voor inflatie is deze dalende trend nog sterker: de reële prijzen van eendeurskoelkasten zijn gedaald met gemiddeld -4,5% (zonder vriesvak), respectievelijk -3,5% (met vriesvak). Voor de vrieskast/-kist is dat -2,5% per jaar, en voor de tweedeurskoelkast +1% per jaar. Per jaar neemt de inhoud van koelapparatuur met circa -1,4% af (zie paragraaf 3.1). Dit leidt tot een toename van de kosten per liter koelruimte, hetgeen zich weerspiegelt in de reële vaste kosten per liter koelruimte. Voor het gewogen gemid-

²⁰ Op basis van de onder- en bovengrens van efficiencyverbetering.

delde zijn de uitgaven aan de betreffende koelfunctie per persoon in 1997 de weegfactor²¹.

Variabele kosten

De variabele kosten van de tweedeurs koelkast en de vrieskast/-kist zijn gemiddeld afgenomen, terwijl die van de tafelmodel koelkasten variëren tussen een toename van circa 1% en een afname van -1% per jaar. De ontwikkeling wordt in hoofdzaak bepaald door de efficiency-ontwikkeling per liter koel-/vriesruimte (zie paragraaf 3.3), die gecorrigeerd is voor inflatie. Voor het gewogen gemiddelde zijn de uitgaven aan de betreffende koelfunctie per persoon in 1997 de weegfactor.

3.4 Elektriciteitsverbruik aan koelen en vriezen

In 1997 werd *per huishouden* gemiddeld circa 590 kWh per jaar verbruikt voor het gekoeld en bevroren houden van etenswaren in een koel- of vrieskast (of vrieskist). Dit is circa 18% van het huishoudelijk elektriciteitsverbruik²². Hiervan was 384 kWh bestemd voor koelen en 87 kWh voor vriezen.

Voor onze analyse is het elektriciteitsverbruik *per persoon* van belang. In het afgelopen decennium is een huishouden gemiddeld iets kleiner geworden (gezinsverdunding): een afname met gemiddeld 0,8% per jaar²³. Een afname van de gemiddelde huishoudgrootte betekent dat een koel- of vriesapparaat 'gedeeld' wordt door een kleiner aantal personen. Dit heeft tot gevolg dat het elektriciteitsverbruik *per persoon* sneller stijgt dan dat per huishouden.

Het elektriciteitsverbruik van verschillende koel- en vriesapparatuur is niet evenredig toegenomen, hetgeen is weergegeven in Tabel 6.

²¹ Aantal liters koel-/vriesruimte per persoon vermenigvuldigd met de kostprijs per liter.

²² EnergieNed, BEK '97.

²³ In 1987 vormden gemiddeld 2,5 personen een huishouden; in 1997 waren dit 2,3 personen (CBS).



Tabel 6 Ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik per persoon aan de functie koelen, over de periode 1987-1997

Type apparaat	Percentage dat het apparaat bijdraagt aan het elektriciteitsverbruik per persoon aan koelen en vriezen in 1997	Ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik (berekend)	Ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik (volgens BEK ²⁴)
2-deurs koelkast	37%	-0,4 tot +1,7	+1,7 % p.j.
koelkast zonder vriesvak	13%	+4,7 tot +7,5	+6,7% p.j.
koelkast met vriesvak	15%	-5,7 tot -3,5	-1,3% p.j.
<i>Totaal koelen</i>	65%	-0,6 tot +0,9	+1,6% p.j.
Vriezen	35%	+0,2 tot +2,2	+3,0% p.j.

Bron: Energiened, BEK diverse jaren

In de periode 1991-1997 is het elektriciteitsverbruik aan de functie koelen met gemiddeld 0,2% per jaar (per persoon) toegenomen, en dat van vriezen 1,2% per jaar, op basis van de gegevens over het functiegebruik en de efficiency. Het berekende elektriciteitsverbruik wijkt licht af van de gegevens uit BEK. Volgens onze berekening daalt het elektriciteitsverbruik van de koelkast met vriesvak sterker dan in BEK vanwege de sterke afname van het functiegebruik (-5% p.j.). Het elektriciteitsverbruik aan vriezen neemt iets minder snel toe dan in BEK.

3.5 Interpretatie van de resultaten – functies koelen en vriezen

In deze paragraaf wordt, op basis van de resultaten die in de voorgaande paragrafen zijn gepresenteerd, beargumenteerd of bij de functie koelen onderbouwd kan worden dat een gedeelte van de ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik verklaard kan worden door de werkzaamheid van een prijseffect.

In Tabel 7 zijn de resultaten uit de vorige paragrafen samengevat.

²⁴ Aannamen voor het berekenen van de ontwikkeling over de periode 1987 – 1997: (i) het elektriciteitsverbruik van de 'eendeurs-koelkast' in 1987 is verdeeld over de 'koelkast met vriesvak' en de 'koelkast zonder vriesvak' (categorieën die in BEK 1991 e.v. worden gebruikt) volgens de verhouding van het elektriciteitsgebruik tussen deze laatste twee typen in 1991; (ii) het elektriciteitsverbruik van huishoudens aan de diepvrieskist/-kast is tussen 1987 en 1991 met hetzelfde percentage toegenomen als tussen 1991 en 1995 het geval was.

Tabel 7 Ontwikkeling van functiegebruik, efficiency, elektriciteitsverbruik en kostprijs voor de functie koelen

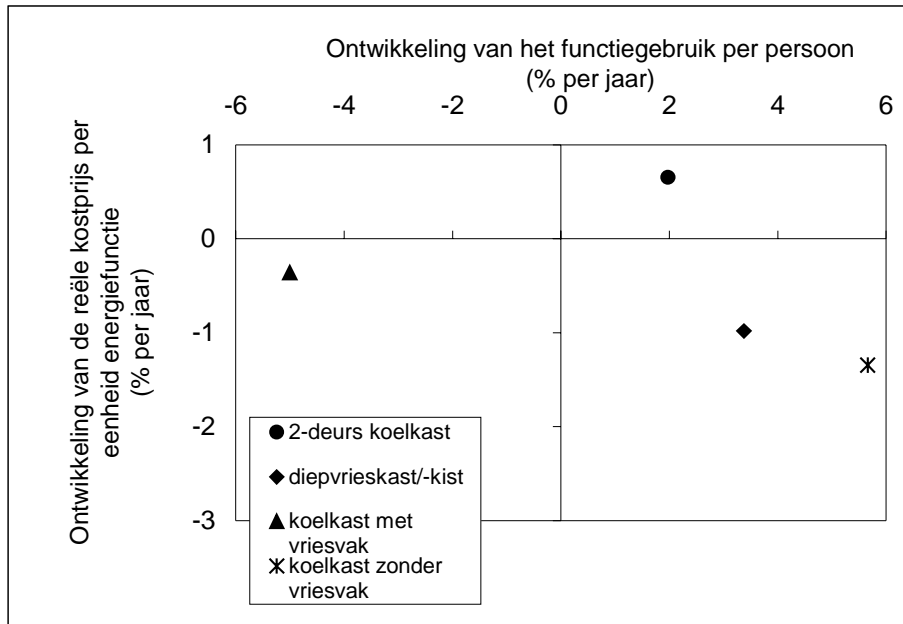
	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per liter koel-/ vriesruimte in de periode 1987-1997 (% per jaar)				
Type apparaat	Functiegebruik	Efficiency	Reële kostprijs	Aandeel elektriciteitskosten in kostprijs	Elektriciteitsverbruik
<i>Eenheid</i>	<i>p.p.p.j.</i>	<i>Per liter koel-/vriesruimte</i>	<i>per liter koel-/vriesruimte</i>	<i>%</i>	<i>p.p.p.j.</i>
2-deurs koelkast	2,0	-2,1 tot -0,3	-0,4 tot +0,7	45%	-0,4 tot +1,7
Koelkast zonder vriesvak	5,7	-1,0 tot +1,8	-2,4 tot -1,3	45%	+4,7 tot +7,5
Koelkast met vriesvak	-5,0	-0,7 tot +1,5	-1,4 tot -0,4	50%	-5,7 tot -3,5
<i>Gemiddelde koelen (gewogen)</i>	<i>0,7</i>	<i>-1,3 tot +0,9</i>	<i>-1,0 tot 0</i>	<i>47%</i>	<i>-0,6 tot +0,9</i>
<i>Vriezen</i>	<i>3,4</i>	<i>-3,1 tot -1,1</i>	<i>-2,0 tot -0,9</i>	<i>50%</i>	<i>+0,3 tot +2,3</i>

Uit de tabel blijkt dat er twee apparaten zijn waarbij een stijging van het functiegebruik gepaard gaat met een daling van de gemiddelde kostprijs per liter koel-/vriesruimte: de koelkast zonder vriesvak en de vriesapparaat. Bij deze apparaten zou een prijseffect werkzaam kunnen zijn.

Het functiegebruik van de 2-deurs koelkast is weliswaar toegenomen, maar de kostprijs is (nagenoeg) niet afgenomen, of licht toegenomen. De prijs heeft hier dus geen invloed op de toename van het gemiddeld gebruik. Dit is te verklaren uit het feit dat er substitutie optreedt tussen de verschillende apparaten: de koelkast met vriesvak verliest bijvoorbeeld terrein aan dit type. Het functiegebruik van de koelkast met vriesvak is afgenomen, ondanks een daling van de gemiddelde reële kostprijs. Dit is eveneens te verklaren door de substitutie: dit type koelkast is een 'uitstervend ras'. Kostprijsdaling kan dit niet voorkomen.

In Figuur 1 is de ontwikkeling van het functiegebruik en van de kostprijs (gemiddelde waarden) tegen elkaar uitgezet.

Figuur 1 De gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling van het functiegebruik over de periode 1987-1997 afgezet tegen die van de reële kostprijs over dezelfde periode, voor de functie koelen (in gemiddelde mutatie per jaar)



Uit de figuur is af te lezen dat de koelkast zonder vriesvak en de vriesapparatuur zich bevinden in het rechter onder kwadrant, het kwadrant waar een functiestijging gepaard gaat met een kostprijsdaling.

Conclusie

Op grond van bovenstaande trekken we de volgende conclusie:

Prijseffect:

- voor de koelkast zonder vriesvak en vriesapparatuur is op grond van de statistische relatie tussen het functiegebruik en de kostprijs en die tussen de penetratiegraad en de vaste kosten te verwachten dat een prijseffect werkzaam is;
- voor de overige typen is dit niet het geval:
 - bij de 2-deurs koelkast neemt het functiegebruik toe ondanks een stijging van de kostprijs;
 - bij de koelkast met vriesvak daalt het functiegebruik ondanks een daling van de kostprijs.

Substitutie is waarschijnlijk de verklarende reden voor het ontbreken van het verband.



4 Functie reinigen

Onder de functie reinigen zijn een aantal huishoudelijke activiteiten te scharen, waarvan die activiteiten onderzocht zijn die gepaard gaan met circa 95% van het energieverbruik voor reinigen²⁵:

- wasgoed wassen met behulp van de wasmachine;
- wasgoed drogen met behulp van de wasdroger;
- serviesgoed reinigen met behulp van een vaatwasmachine;
- stofzuigen met behulp van de stofzuiger.

In de paragrafen 4.1 tot en met 4.4 worden deze reinigingsfuncties achtereenvolgens geanalyseerd.

Per functie wordt aangegeven wat de ontwikkeling in de periode 1987-1997 is geweest van:

- het functiegebruik;
- de efficiency (elektriciteitsverbruik per functie-eenheid);
- de kostprijs per functie-eenheid.

In paragraaf 4.5 wordt aangegeven wat de ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik is geweest voor de reinigingsfuncties.

4.1 Wassen van wasgoed

In de hierna volgende paragrafen wordt een analyse gegeven van het functiegebruik van wassen (paragraaf 4.1.1), de efficiency-ontwikkeling (paragraaf 4.1.2) en de ontwikkeling van de kostprijs om een kilogram wasgoed te wassen (paragraaf 4.1.3).

4.1.1 Functiegebruik van wasgoed wassen

Voor de analyse van het functiegebruik vragen we ons af waar het de eindverbruiker uiteindelijk om te doen is: het gaat niet om het hebben van een wasmachine, maar om schoon wasgoed. We definiëren het functiegebruik als volgt:

het aantal kilogrammen schoon wasgoed, gewassen in de wasmachine, per persoon per jaar.

Dit functiegebruik hangt af van de volgende factoren:

- wasfrequentie: het gemiddeld aantal wassen per apparaat per jaar;
- beladingsgraad: het gemiddeld aantal kilogram wasgoed per wasbeurt;
- de penetratie van wasmachines in de Nederlandse huishoudens;
- het aantal personen per huishouden.

Uit het aantal wassen per apparaat per jaar en de gemiddelde belading per wasbeurt wordt berekend hoeveel kilogrammen wasgoed er gemiddeld per jaar in een wasmachine worden gewassen. De penetratiegraad bepaalt vervolgens (door vermenigvuldiging) het aantal kilogrammen per huishouden. Tenslotte levert het delen door het aantal personen per huishouden de hoeveelheid wasgoed per persoon per jaar op.

²⁵ Op basis van BEK '97. Buiten beschouwing blijven: handmatig wassen en afwassen, strijken en stofzuigen met behulp van een kruimeldief.

In Tabel 8 staat een overzicht van de factoren die het functiegebruik bepalen.

Tabel 8 Functiegebruik wassen van wasgoed (kilogrammen wasgoed p.p.p.j.) over de periode 1987-1997

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling (% p.j.)				
	Functiegebruik (p.p.)	Wasfrequentie	Beladingsgraad	Penetratie	Gezinsverduunning
Wassen van wasgoed	1,9 tot 2,2	1,1 tot 1,9	-1,2 tot 0	-0,4	+0,8

Gemiddeld is het functiegebruik circa 2% per jaar toegenomen.

In absolute zin werd er in 1997 circa 350 kilogram wasgoed *per persoon* per jaar gewassen, hetgeen overeenkomt met circa 7 kilogram per week. *Per huishouden* is dit circa 800 kilogram per jaar en circa 16 kilogram per week. Dit komt redelijk overeen met bevindingen van Uitdenbogerd e.a. (1998): 16,5 kilogram in 1994. Dit onderzoek geeft tevens aan dat deze hoeveelheid sinds 1950 is toegenomen met circa 3% per jaar²⁶. Ervan uitgaande dat de grootste toename heeft plaatsgevonden vóór 1987, lijkt onze inschatting (circa 2% per jaar) redelijk.

Hierna worden de vier factoren die het functiegebruik bepalen, besproken.

Wasfrequentie

Het wasgedrag van huishoudens is door verschillende instanties onderzocht, waaronder de vraag hoe vaak er gewassen wordt. De trend die door alle onderzoekers wordt aangegeven is, dat er steeds vaker wordt gewassen. Er is echter geen eenduidigheid over de mate van toename: deze varieert (over verschillende periodes) tussen 0,6% en 2,3% per jaar. Omdat de onderzoeken met een zichtperiode die de jaren zeventig en tachtig omvat, op een hogere toename uitkomen dan de onderzoeken over een periode in de afgelopen tien jaar, lijken de cijfers erop te wijzen dat de frequentie de laatste tien jaar minder snel toeneemt dan in het decennium daarvoor. We schatten de toename van de wasfrequentie in de periode 1987-1997 op 1 tot 2 % per jaar.

De wasfrequentie ligt momenteel op circa 3,5 keer per week²⁷. In Tabel 9 staat een overzicht van de verschillende onderzoeken.

²⁶ De hoeveelheid wasgoed per huishouden bedroeg volgens Uitdenbogerd e.a. (1998) in 1950 4,2 kilogram per week.

²⁷ Uitdenbogerd, 1998.



Tabel 9 Frequentie wassen wasgoed (per apparaat per week)

Onderzoek	tijdperiode	Wasfrequentie begin- en eind- jaar (per apparaat per week)	Gemiddelde toename was- frequentie (% per jaar)
BEK (diverse jaren)	1987-1997	4 - 4,5	+1,1
Van Dijk, Siderius (1991)	1980-1991	3,9 - 4,7	+1,7
Van Rossum (1991)	1974-1987	2,9 - 4,2	+2,3
VEWIN/NIPO (1999)	1992-1998	4,2 - 4,4	+0,6
Groot-Marcus en Van Moll (1996)	1990	4,4	--
Uitdenbogerd, e.a. (1998)	1997	7,2	--

De redenen voor de toename van de wasfrequentie zijn divers. Uitdenbogerd, e.a. wijzen erop dat de normen over wanneer een kledingstuk 'vuil' is, mogelijk aan het veranderen zijn, maar dat hierover geen literatuur beschikbaar is. Wel is er een trend gaande dat steeds meer mensen dagelijks schone kleren aantrekken²⁸.

Beladingsgraad

Over de beladingsgraad, het aantal kilogrammen wasgoed per wasbeurt, zijn geen tijdreeksen gevonden. Wel is bekend dat de machine niet gevuld wordt tot de normbelading van circa 4,7 kilogram: de gemiddelde belading is circa 3,5 kilogram per wascyclus (BEK 1997; Uitdenbogerd, e.a. 1998). Er is geen kwantitatieve onderbouwing gevonden dat de toenemende wasfrequentie gepaard gaat met een afnemende beladingsgraad (vaker kleine wassen). Het lijkt ons echter wel aannemelijk dat er een ontwikkeling gaande kan zijn naar een afnemend gemiddeld vulgewicht per cyclus. We gaan er daarom vanuit dat de beladingsgraad gelijk gebleven is het afgelopen decennium, of afgenomen is met 0 tot -1% per jaar²⁹.

Penetratie

De penetratie van wasmachines heeft voornamelijk plaatsgevonden in de vijftig- en zestiger jaren³⁰. Tussen 1987 en 1997 is de penetratie nog slechts circa 4%-punt toegenomen: in 1987 had 94% van de huishoudens een wasmachine, in 1997 was dat bijna 98%, een toename van gemiddeld 0,4% per jaar. De penetratie draagt dus in geringe mate bij aan de toename van het aantal kilogrammen wasgoed dat per huishouden/persoon wordt gewassen.

Gezinsverduunning

Tenslotte heeft de gezinsverduunning invloed op de ontwikkeling van het aantal kilogrammen wasgoed per persoon. Zoals al eerder is gezegd, is de gemiddelde huishoudgrootte afgenomen met gemiddeld -0,8% per jaar tussen 1987 en 1997.

²⁸ Uitdenbogerd e.a., 1998, p.8-9 en 43.

²⁹ Een afname met -1% per jaar komt overeen met een absolute afname van circa 4 kilogram in 1987 tot 3,5 kilogram in 1997.

³⁰ De penetratie is tussen 1950 en 1970 toegenomen van circa 20% tot circa 80%. Bron: Slob e.a., 1996.

4.1.2 Efficiency van wasgoed wassen

Onder energie-efficiency wordt in deze analyse verstaan: het energiegebruik per functie-eenheid. Voor deze reinigingsfunctie gaat het om het elektriciteitsverbruik dat nodig is om een kilogram wasgoed te wassen (in de wasmachine).

De energie-efficiency wordt bepaald door een tweetal factoren:

- 1 Het elektriciteitsverbruik per programma.
- 2 Het wasgedrag: de beladingsgraad en de keuze van het wasprogramma (temperatuur en voorwas)³¹.

De ontwikkeling van beide factoren in de zichtperiode 1987-1997 is weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10 Efficiency-ontwikkeling van het wassen van wasgoed (elektriciteitsverbruik per kilogram wasgoed)

	Inschatting van de gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling voor periode 1987-1997 (% p.j.)		
	Efficiency-ontwikkeling per kilogram wasgoed	Elektriciteitsverbruik per programma	wasgedrag
Wassen van wasgoed	-4,6 tot -1,5	-4,6 tot -1,5	0

Het elektriciteitsverbruik per kilogram gewassen wasgoed is in de periode 1987-1997 naar inschatting met gemiddeld $-4,6$ tot $-1,5\%$ per jaar afgenomen.

Hierna volgt een toelichting op de beide factoren die de efficiency bepalen.

Elektriciteitsverbruik per programma

Er ontbreken gegevens over het elektriciteitsverbruik van het *gemiddelde* wasmachinepark dat is geïnstalleerd in huishoudens. Over dat van *nieuwe* machines zijn de volgende gegevens gevonden:

- op basis van Consumentengidsen, Energiewijzers, BEK-rapporten en GEA is het elektriciteitsverbruik van een standaard 60°C katoenwasprogramma met circa $-1,5\%$ per jaar afgenomen³² over de zichtperiode 1987-1997;
- op basis van de gegevens van TNO is het elektriciteitsverbruik van een standaard 60°C katoenwasprogramma met circa $-4,6\%$ per jaar afgenomen³³.

Beide waarden worden als boven- en ondergrens genomen.

³¹ In de gangbare benaderingen van de energie-efficiency speelt de beladingsgraad geen rol; de efficiency wordt veelal benaderd als elektriciteitsverbruik per programma.

³² Op basis van informatie uit: Consumentengidsen, Energiewijzers 1997, BEK-rapporten (1997) en GEA (1995). Het elektriciteitsverbruik voor dit programma komt in de betreffende bronnen overeen voor 1995-1997: circa 1,1 kWh per programma. De waarde voor 1987 is op basis van de Consumentengids ingeschat.

³³ Verwoerd en Van der Sluijs, 1998.



Wasgedrag

Naast het elektriciteitsverbruik per programma heeft het wasgedrag invloed op het gemiddelde elektriciteitsverbruik per kilogram wasgoed:

- Beladingsgraad: in de vorige paragraaf is ingeschat dat deze in de zichtperiode met gemiddeld 0 tot $-1,2\%$ per jaar is afgenomen. Een afname van de beladingsgraad betekent een toename van het elektriciteitsverbruik per kilogram wasgoed.
- Wastemperatuur en gebruik van voorwas: de gemiddelde temperatuur van het wasprogramma is in de loop der jaren afgenomen, en het gebruik van het voorwasprogramma verminderd. Dit is onder andere het gevolg van een hogere enzymactiviteit van wasmiddelen³⁴. Een afname van de wastemperatuur en een verminderd gebruik van het voorwasprogramma gaat gepaard met een vermindering van het elektriciteitsverbruik per kilogram wasgoed (bij gelijkblijvende beladingsgraad). Wegens een gebrek aan gegevens is kwantificering van dit effect niet mogelijk.

We veronderstellen dat het effect van de afnemende beladingsgraad en van het veranderd wasgedrag elkaar opheffen en tezamen resulteren in een gelijkblijvend elektriciteitsverbruik per kilogram wasgoed.

4.1.3 Kostprijs van wasgoed wassen

De reële kostprijs per functie-eenheid wordt voor de functie wassen van wasgoed uitgedrukt per kilogram wasgoed (in guldens van 1997). Deze is opgebouwd uit twee elementen:

- vaste kosten: de kosten voor de aanschaf van de wasmachine, toegerekend aan een kilogram wasgoed;
- variabele kosten: de energie-, water- en wasmiddelkosten.

Deze kosten zijn als volgt berekend:

Vaste kosten:

- op basis van Consumentengidsen (en eventueel aanvullende bronnen) is de ontwikkeling in de nominale aanschafprijs per wasmachine bepaald;
- per jaar is deze nominale prijs met behulp van de CPI omgezet in een reële prijs;
- de reële aanschafprijs is vervolgens omgerekend naar de gemiddelde vaste kosten per apparaat per jaar, waarbij uitgegaan is van de gemiddelde levensduur (12 jaar)³⁵ en een afschrijving van 4% per jaar;
- met behulp van de ontwikkeling van het aantal kilogrammen wasgoed per wasmachine per jaar, zijn de gemiddelde kosten per functie-eenheid bepaald.

Variabele kosten:

- gegevens over het elektriciteitsverbruik per apparaat per wasprogramma zoals die zijn ingeschat bij de efficiency, zijn de basis (zie paragraaf 4.1.2);
- met behulp van het aantal kilogrammen wasgoed per wasprogramma (beladingsgraad) wordt het elektriciteitsverbruik per functie-eenheid bepaald;
- met behulp van de reële elektriciteitsprijs wordt het verbruik omgerekend naar variabele (reële) kosten per kilogram wasgoed;

³⁴ Zie onder andere Van Rossum, e.a., 1991.

³⁵ Informatie van Whirlpool.

- overige variabele kosten (water en wasmiddel) worden meegenomen. De berekening is analoog aan die van de elektriciteitskosten.

In Tabel 11 staat aangegeven hoe deze kosten zich in de zichtperiode van het onderzoek hebben ontwikkeld.

Tabel 11 Ontwikkeling van de reële kostprijs per kilogram gewassen wasgoed in de periode 1987-1997

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per kilogram wasgoed in de periode 1987-1997 (% per jaar)				
	Totale reële kostprijs	Reële vaste kostprijs	Reële variabele kostprijs	Reële kostprijs per kilogram wasgoed in 1997 (gulden van 1997)	Verhouding tussen vaste en variabele kosten
Wassen van wasgoed	-1,9 tot -0,8	-1,0 tot -0,7	-2,5 tot -0,7	0,60	35-65

In de periode 1987-1997 is de reële kostprijs van het wassen van een kilogram wasgoed met gemiddeld $-1,9$ tot $-0,8\%$ per jaar afgenomen. De totale reële kostprijs per kilogram wasgoed bedraagt in 1997 gemiddeld circa 60 cent (gulden van 1997). De verhouding vast-variabel bedraagt circa 35-65%.

Hieronder staat aangegeven hoe de vaste en variabele kosten zich hebben ontwikkeld.

Vaste kosten

Wasmachines zijn in de loop van het afgelopen decennium gemiddeld duurder geworden: van ruim 1300 gulden in 1987 tot gemiddeld bijna 1700 gulden in 1997: een stijging van circa $+2\%$ per jaar³⁶. In reële termen is de wasmachine echter niet in prijs gestegen.

Het aantal kilogrammen wasgoed dat per jaar in de wasmachine wordt gewassen, neemt toe met $0,7$ tot $1,0\%$ per jaar in de periode 1987-1997³⁷. Als gevolg hiervan dalen de reële vaste kosten per kilogram wasgoed met $-1,0$ tot $-0,7\%$ per jaar in deze periode. In 1997 bedroegen de reële vaste kosten circa 20 cent per kilogram wasgoed (in gulden van 1997).

Variabele kosten

De reële variabele kosten zijn samengesteld uit de reële kosten voor elektriciteit, water en wasmiddel die nodig zijn per kilogram wasgoed. De ontwikkeling ervan in de periode 1987-1997 is als volgt:

³⁶ Op basis van alle testen met betrekking tot wasmachines in Consumentengidsen tussen 1987 en 1997.

³⁷ Als gevolg van een toename van het aantal wassen en een verandering in de beladingsgraad.

Tabel 12 Ontwikkeling van de reële kosten voor elektriciteit, water en wasmiddel per kilogram wasgoed over de periode 1987-1997

Reële variabele kosten	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling over de periode 1987-1997	Reële kosten per kilogram wasgoed in 1997 (prijzen van 1997)
Electriciteit	-3,8 tot -0,5 % p.j.	10 cent
Water en wasmiddel	-2,0 tot -0,8 % p.j.	29 cent
Totaal	-2,5 tot -0,7 tot % p.j.	39 cent

De reële kosten van water en wasmiddel in 1997 bepaalden circa twee derde deel van de variabele kosten, terwijl een derde deel voor rekening van het elektriciteitsverbruik komt.

4.1.4 Samenvatting resultaten van wassen van wasgoed

In onderstaande tabel zijn de resultaten uit de vorige paragrafen samengevat. In paragraaf 4.6 wordt op basis van de resultaten van alle reinigingsfuncties ingegaan op de interpretatie ervan.

Tabel 13 Ontwikkeling van elektriciteitsverbruik, functiegebruik, kostprijs en efficiency voor de functie wassen van wasgoed

		Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per kilogram wasgoed in de periode 1987-1997 (% per jaar)				
Type apparaat	Functiegebruik	Efficiency	Reële kostprijs	Aandeel elektriciteitskosten in kostprijs	Elektriciteitsverbruik	
<i>Eenheid</i>	<i>p.p.p.j.</i>	<i>per kilogram wasgoed</i>	<i>per kilogram wasgoed</i>	<i>%</i>	<i>p.p.p.j.</i>	
Wassen van wasgoed	1,9 tot 2,2	-4,6 tot -1,5	-1,9 tot -0,8	17% ³⁸	-0,5	

4.2 Drogen van wasgoed

In de hierna volgende paragrafen wordt een analyse gegeven van het functiegebruik van wassen (paragraaf 4.2.1), de efficiency-ontwikkeling (paragraaf 4.2.2) en de ontwikkeling van de kostprijs om een kilogram wasgoed te wassen (paragraaf 4.2.3).

4.2.1 Functiegebruik van wasgoed drogen

We definiëren het functiegebruik voor het drogen van wasgoed als volgt: *het aantal kilogrammen schoon wasgoed dat gedroogd is in een wasdroger, per persoon per jaar.*

³⁸ Dit betreft de *elektriciteitskosten*. De variabele kosten (inclusief wasmiddel en water) beslaan circa 65% van de totale kostprijs.

Het aantal kilogrammen wasgoed dat gemiddeld per persoon per jaar in de wasdroger wordt gedroogd, hangt af van de volgende factoren:

- droogfrequentie: het gemiddeld aantal droogcycli per apparaat per jaar;
- beladingsgraad: het gemiddeld aantal kilogrammen wasgoed per droogcyclus;
- penetratie van wasdrogers in de Nederlandse huishoudens;
- gezinsverdunding: het aantal personen per huishouden.

Uit het aantal droogcycli per apparaat per jaar en de gemiddelde belading per droogcyclus wordt berekend hoeveel kilogrammen wasgoed er gemiddeld per jaar in een wasdroger worden gedroogd. De penetratiegraad bepaalt vervolgens (door vermenigvuldiging) het gemiddeld aantal kilogrammen gedroogde was per huishouden per jaar. Tenslotte levert het delen door het aantal personen per huishouden de gewenste hoeveelheid wasgoed per persoon per jaar op.

In Tabel 14 staat een overzicht van de factoren die het functiegebruik bepalen.

Tabel 14 Functiegebruik drogen van wasgoed (kilogrammen wasgoed p.p.p.j.) over de periode 1987-1997

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling (% p.j.)				
	Functiegebruik (p.p.)	Wasfrequentie	Beladingsgraad	Penetratie	Gezinsverdunding
Drogen van wasgoed	11,3 tot 14,4	0,2 tot 3,0	0	10,2	0,8

Het functiegebruik is gemiddeld met 11,3 tot 14,4% per persoon per jaar toegenomen.

In absolute zin wordt er in 1997 per persoon circa 150 kilogram wasgoed gedroogd in de wasdroger, hetgeen overeenkomt met circa 3 kilogram per week.

Hierna worden de vier factoren die het functiegebruik bepalen, besproken.

Droogfrequentie

Naar het wasgedrag is veel onderzoek gedaan, naar het drooggedrag van huishoudens echter (nog) niet. Dat het drogen in een wasdroger nog een relatief nieuwe reinigingsfunctie is, is waarschijnlijk een van de oorzaken.

Er zijn twee bronnen gevonden: Van Dijk en Siderius (1991) en de BEK-rapporten 1995-1997. Van Dijk en Siderius komen tot de bevinding dat het aantal droogcycli in de jaren tachtig is afgenomen met –2% per jaar: van 3,9 keer per week in 1980 tot 3,1 keer per week in 1991. De BEK-rapporten 1995 en 1997 gaan uit van 190 droogcycli per jaar, hetgeen overeenkomt met circa 4 per week. Het lijkt er dus op dat de droogfrequentie in de jaren tachtig iets afnam, om in de jaren negentig weer iets toe te nemen; dit is echter (vanwege de verschillende bronnen) niet met zekerheid te zeggen. We gaan er op grond van deze onderzoeken vanuit dat de droogfrequentie in de periode 1987-1997 is toegenomen met gemiddeld 0 tot 3% per jaar³⁹.

Belading

³⁹ Onder de veronderstelling dat de droogfrequentie in 1987 gelijk is aan die in 1980 (namelijk 3,9 keer per week) resulteert een groei van 0% per jaar. Onder de veronderstelling dat de droogfrequentie in 1991 3,1 keer per week is en in 1997 4 keer, resulteert een groei van circa 3% per jaar. Deze veronderstellen we voor de vaststelling van de bovengrens representatief voor de gehele periode 1987-1997.



Over de gemiddelde belading van de wasdroger is slechts één bron gevonden: Uittenbogerd, e.a. 1998. Hij geeft aan dat de gemiddelde belading in 1991 3,2 kilogram per cyclus was. We nemen (bij gebrek aan verdere gegevens) aan dat de gemiddelde belading het afgelopen decennium constant is gebleven op 3,2 kilogram/cyclus.

Penetratie

De wasdroger heeft de afgelopen tien jaar in vele huishoudens zijn intrede gedaan: in 1987 had 18% van de huishoudens een dergelijk apparaat, in 1997 was dat opgelopen tot bijna 54%. De toegenomen penetratie is dus een zeer belangrijke factor die de groei van het gemiddeld aantal kilogrammen gedroogd wasgoed beïnvloedt. Deze zorgt namelijk voor een toename van het functiegebruik met ruim 10%-punt per jaar.

Gezinsverduunning

Tenslotte heeft de gezinsverduunning een effect van 0,8%-punt op het functiegebruik per persoon.

4.2.2 Efficiency van wasgoed drogen

Onder energie-efficiency wordt in deze analyse verstaan: het energiegebruik per functie-eenheid. Voor de reinigingsfunctie drogen van wasgoed gaat het om het elektriciteitsverbruik dat nodig is om een kilogram wasgoed te drogen (in de wasdroger).

De energie-efficiency wordt bepaald door een tweetal factoren:

- 1 Het elektriciteitsverbruik per programma.
- 2 Het drooggedrag: de beladingsgraad en de keuze van het droogprogramma (temperatuur)⁴⁰.

De ontwikkeling van beide factoren in de zichtperiode 1987-1997 is weergegeven in Tabel 15.

Tabel 15 Efficiency-ontwikkeling van het drogen van wasgoed (elektriciteitsverbruik per kilogram wasgoed)

	Inschatting van de gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling voor periode 1987-1997 (% p.j.)		
	Efficiency-ontwikkeling per kilogram wasgoed	Elektriciteitsverbruik per programma	wasgedrag
Drogen van wasgoed	-0,6 tot +1,5	-0,6 tot +1,5	0

De mutatie van het elektriciteitsverbruik per kilogram gedroogd wasgoed in de periode 1987-1997 bedraagt naar inschatting gemiddeld -0,6 tot +1,5% per jaar.

Hierna volgt een toelichting op de beide factoren die de efficiency bepalen.

⁴⁰ In de gangbare benaderingen van de energie-efficiency speelt de beladingsgraad geen rol; de efficiency wordt veelal benaderd als elektriciteitsverbruik per programma.

Elektriciteitsverbruik per programma

Er ontbreken gegevens over het elektriciteitsverbruik van het gemiddelde park van geïnstalleerde wasdrogers in huishoudens. Over de zichtperiode 1987-1997 is het elektriciteitsverbruik voor nieuwe wasdrogers voor een standaard droogprogramma voor katoenwas (kastdroog) met $-0,6$ tot $1,5\%$ per jaar afgenomen⁴¹.

Drooggedrag:

Naast het elektriciteitsverbruik per programma heeft het drooggedrag invloed op het gemiddelde elektriciteitsverbruik per kilogram wasgoed:

- beladingsgraad: in de vorige paragraaf is ingeschat dat deze in de zichtperiode gelijk is gebleven;
- droogtemperatuur: er zijn geen gegevens gevonden over veranderingen in de keuze van droogprogramma's door consumenten.

Vanwege ontbrekende gegevens over zowel de beladingsgraad als het drooggedrag, nemen we aan dat het drooggedrag geen invloed heeft gehad op de efficiencyverbetering van het drogen van wasgoed.

4.2.3 Kostprijs van wasgoed drogen

De reële kostprijs per functie-eenheid wordt voor de functie drogen van wasgoed uitgedrukt per kilogram wasgoed (in guldens van 1997). Deze is opgebouwd uit twee elementen:

- vaste kosten: de kosten voor de aanschaf van de wasdroger, toegerekend aan een kilogram wasgoed;
- variabele kosten: de energiekosten.

Deze kosten zijn als volgt berekend:

Vaste kosten:

- op basis van Consumentengidsen (en eventueel aanvullende bronnen) is de ontwikkeling in de nominale aanschafprijs per wasdroger bepaald;
- per jaar is deze nominale prijs met behulp van de CPI omgezet in een reële prijs;
- de reële aanschafprijs is vervolgens omgerekend naar de gemiddelde vaste kosten per apparaat per jaar, waarbij uitgegaan is van de gemiddelde levensduur (12 jaar)⁴² en een afschrijving van 4% per jaar;
- met behulp van de ontwikkeling van het aantal kilogrammen wasgoed per apparaat per jaar, zijn de gemiddelde kosten per functie-eenheid bepaald.

Variabele kosten:

- gegevens over het elektriciteitsverbruik droogcyclus zoals die zijn ingeschat bij de efficiency, zijn de basis (zie paragraaf 4.2.2);
- met behulp van het aantal functie-eenheden per droogprogramma (beladingsgraad) wordt het elektriciteitsverbruik per functie-eenheid bepaald;
- met behulp van de reële elektriciteitsprijs wordt het verbruik omgerekend naar variabele (reële) kosten per kilogram wasgoed.

⁴¹ Op basis van informatie uit: Consumentengidsen (1987-1997), Energiewijzers (1992 en 1997), Kemna (1989), Novem (1996), TNO (1999). Door de gegevens van Kamna, Consumentengidsen en Energiewijzers te combineren resulteert voor de periode 1987-1997 een vermindering van het elektriciteitsverbruik voor het standaardprogramma met $-0,6\%$ per jaar, hetgeen de ondergrens is. TNO komt voor de periode 1995-1998 tot een ontsparring van gemiddeld $+1,5\%$ per jaar. Dit is als bovengrens genomen voor de gehele zichtperiode.

⁴² Consumentengidsen uit 1997 en 1998.



In Tabel 16 staat aangegeven hoe deze kosten zich in de zichtperiode van het onderzoek hebben ontwikkeld.

Tabel 16 Ontwikkeling van de kostprijs per kilogram gedroogd wasgoed in de periode 1987-1997

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per kilogram wasgoed in de periode 1987-1997 (% per jaar)				
	Totale reële kostprijs	Reële vaste kostprijs	Reële variabele kostprijs	Reële kostprijs per kilogram wasgoed in 1997 (gulden van 1997)	Verhouding tussen vaste en variabele kosten
Drogen van wasgoed	-3,6 tot -1,5	-7,4 tot -4,8	-1,0 tot 0,6	50 cent	30-70

Gemiddeld is de reële kostprijs om een kilogram wasgoed te drogen is in de zichtperiode met gemiddeld $-3,6$ tot $-1,5\%$ per jaar afgenomen. Hieronder staat aangegeven hoe dit is opgebouwd.

De totale reële kostprijs per kilogram wasgoed bedraagt in 1997 gemiddeld circa 50 cent (gulden van 1997). Hiervan is 30% vaste en 70% variabele kosten.

Hieronder staat aangegeven hoe de vaste en variabele kosten zich hebben ontwikkeld.

Vaste kosten

De aanschafprijs van wasdrogers is (nominaal) in de periode 1988-1997 gedaald met gemiddeld circa $-2,5\%$ per jaar. In 1997 kost een wasdroger gemiddeld circa 925 gulden, terwijl dat in 1988 circa 1190 gulden was⁴³. De reële prijs is gedaald met gemiddeld circa $-4,5\%$ per jaar.

Het aantal kilogrammen wasgoed dat per jaar in de wasdroger wordt gedroogd, neemt toe met $0,2$ tot $3,0\%$ per jaar in de periode 1987-1997⁴⁴. Als gevolg hiervan dalen de reële vaste kosten per kilogram gedroogd wasgoed met $-4,8$ tot $-7,4\%$ per jaar in deze periode. In 1997 bedroegen de reële vaste kosten circa 16 cent per kilogram wasgoed (in gulden van 1997).

Variabele kosten

De reële variabele kosten zijn de reële kosten voor elektriciteit per kilogram wasgoed. Deze zijn in de periode 1987-1997 afgenomen met $-1,0$ tot $0,6\%$ per jaar. In absolute zin bedroegen zij in 1997 circa 35 cent (gulden van 1997).

4.2.4 Samenvatting resultaten van drogen van wasgoed

In onderstaande tabel zijn de resultaten uit de vorige paragrafen samengevat. In paragraaf 4.6 wordt op basis van de resultaten van alle reinigingsfuncties ingegaan op de interpretatie ervan.

⁴³ Consumentengidsen.

⁴⁴ Als gevolg van een toename van het aantal droogcycli.

Tabel 17 Ontwikkeling van elektriciteitsverbruik, functiegebruik, kostprijs en efficiency voor de functie drogen van wasgoed

Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per lumenuur in de periode 1987-1997 (% per jaar)					
Type apparaat	Functiegebruik	Efficiency	Reële kostprijs	Aandeel elektriciteitskosten in kostprijs	Elektriciteitsverbruik
<i>Eenheid</i>	<i>% p.p.p.j.</i>	<i>% p.j. per kilogram wasgoed</i>	<i>% p.j. per kilogram wasgoed</i>	<i>%</i>	<i>p.p.p.j.</i>
Drogen van wasgoed	11,3 tot 14,5	-0,6 tot 1,5	-3,6 tot -1,5	70%	10,8 tot 15,9

4.3 Reinigen van serviesgoed

In de hierna volgende paragrafen wordt een analyse gegeven van het functiegebruik van wassen (paragraaf 4.3.1), de efficiency-ontwikkeling (paragraaf 4.3.2) en de ontwikkeling van de kostprijs om een kilogram wasgoed te wassen (paragraaf 4.3.3).

4.3.1 Functiegebruik van reinigen van serviesgoed

We definiëren het functiegebruik voor het reinigen van serviesgoed als volgt: *het aantal couverts dat gemiddeld per persoon per jaar gewassen wordt in de vaatwasmachine.*

Dit functiegebruik hangt af van de volgende factoren:

- vaatwasfrequentie: het gemiddeld aantal vaatwassen per apparaat per jaar;
- beladingsgraad: het gemiddelde aantal couverts per vaatwas;
- penetratie van vaatwasmachines in de Nederlandse huishoudens;
- het aantal personen per huishouden.

Uit de vaatwasfrequentie en de gemiddelde belading per cyclus kan berekend worden hoeveel couverts er gemiddeld per jaar in een vaatwasmachine worden gewassen. De penetratiegraad bepaalt vervolgens (door vermenigvuldiging) het gemiddeld aantal couverts per huishouden per jaar. Tenslotte levert het delen door het aantal personen per huishouden het aantal couverts per persoon per jaar op.

Vanwege het gebrek aan beschikbare gegevens hebben we voor deze reinigingsfunctie de zichtperiode verkleind tot 1991-1997, en de trend in deze periode doorgetrokken voor de gehele zichtperiode van het onderzoek (1987-1997).

In Tabel 18 staat een overzicht van de factoren die het functiegebruik bepalen.

Tabel 18 Functiegebruik reinigen van serviesgoed (aantal couverts p.p.p.j.) over de periode 1987-1997

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling (% p.j.)				
	Functiegebruik (p.p.)	Wasfrequentie	Beladingsgraad	Penetratie	Gezinsverdunning
Reinigen van serviesgoed	18,1 tot 23,3	4,1 tot 8,3	0 tot 0,4	12,6	0,8

De gemiddelde toename van het functiegebruik bedraagt 18,1 tot 23,3% per jaar. In absolute zin wordt er in 1997 per persoon gemiddeld circa 475 couverts per jaar gewassen in de vaatwasmachine, hetgeen overeenkomt met bijna 10 couverts per week. In 1991 was dit circa 100 couverts per jaar, dus circa 2 couverts per week.

Hieronder worden de vier factoren besproken die het functiegebruik bepalen.

Vaatwasfrequentie

Gegevens over de wasfrequentie van de vaatwasser zijn in vijf onderzoeken gevonden, waarvan in onderstaande tabel een overzicht wordt gegeven.

Tabel 19 Frequentie reinigen serviesgoed (per apparaat per week)

Onderzoek	Tijdperiode	Wasfrequentie begin- en eindjaar (per apparaat per week)	Gemiddelde toename (% per jaar)
Van Dijk, Siderius (1991)	1991	3,8	--
Uitdenbogerd, e.a. (1998)	1997	6,5	--
VEWIN / NIPO (1999)	1995-1998	3,5 - 3,8	2,3
BEK (1995 en 1996)	1995-1996	4,2 - 5	9

De gegevens geven een indicatie dat de wasfrequentie is toegenomen, maar er is een vrij grote onzekerheid over de mate waarin. We schatten de mate van toename in op gemiddeld circa +4,1 tot +8,3% per jaar door de uitkomsten van bovengenoemde onderzoeken te combineren⁴⁵.

Beladingsgraad

De hoeveelheid serviesgoed dat in de vaatwasser kan worden opgenomen, is in de zichtperiode constant gebleven: circa 12 couverts per vaatwas.

Het is echter niet gezegd dat men de vaatwasser ook elke keer vol laadt. Over de beladingsgraad spreken Van Dijk en Siderius en de VEWIN zich uit: volgens de eerste (1991) werd gemiddeld 94% van de machine gevuld⁴⁶. VEWIN komt tot een belading van 97,5% in 1998. Op grond van de beide gegevens kan geconcludeerd worden dat de vaatwasmachines tussen 1991 en 1998 gemiddeld iets voller werden geladen: een toename met circa 0,4% per jaar. Het is echter (door de verschillende bronnen) niet zeker dat deze

⁴⁵ Wanneer we van Dijk en Siderius (3,8 keer per week in 1991) combineren met Uitdenbogerd, e.a. (6,5 keer per week in 1998), levert dit een gemiddelde toename op van 8,3% per jaar. Wanneer we het eerste cijfer combineren met BEK 1996 (5 keer per week), krijgen we een gemiddelde groei van 4,1% per jaar.

⁴⁶ Op basis van de volgende gegevens: 6% van de huishoudens met een vaatwasser zette de machine driekwart vol, 91% geheel vol.

trend zich ook heeft voorgedaan. We gaan in dit onderzoek uit van een gemiddelde toename van de belading tussen 0 en +0,4 % per jaar.

Penetratie

De vaatwasser is een relatief nieuwe energiefunctie die snel terrein wint: in 1987 was de vaatwasmachine in circa 8% van de huishoudens te vinden, in 1991 in ruim 11% en in 1997 was dat opgelopen tot bijna 30%⁴⁷. Dit betekent een toename van circa 12,5% per jaar tussen 1987 en 1997, en ruim 14% per jaar tussen 1991 en 1997.

Gezinsverdunning

De gezinsverdunning zorgt ook hier voor een effect van + 0,8% per jaar: de ontwikkeling van het functiegebruik per persoon verschilt 0,8%-punt met die van het functiegebruik per huishouden.

4.3.2 Efficiency van reinigen van serviesgoed

Voor de functie reinigen van serviesgoed wordt onder energie efficiency verstaan: het elektriciteitsverbruik dat nodig is om een couvert af te wassen (in de vaatwasmachine).

De energie-efficiency wordt bepaald door een tweetal factoren:

- 1 Het elektriciteitsverbruik per programma.
- 2 Het vaatwasgedrag: de beladingsgraad en de keuze van het wasprogramma (temperatuur)⁴⁸.

De ontwikkeling van beide factoren in de zichtperiode 1987-1997 is weergegeven in Tabel 20.

Tabel 20 Efficiency-ontwikkeling van het reinigen van serviesgoed (elektriciteitsverbruik per couvert)

	Inschatting van de gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling voor periode 1987-1997 (% p.j.)		
	Efficiency-ontwikkeling per couvert	Elektriciteitsverbruik per programma	vaatwasgedrag
Reinigen van serviesgoed	-2,0 tot -1,6	-1,6	0,4

Het elektriciteitsverbruik per gereinigd couvert is in de periode 1987-1997 naar inschatting met gemiddeld -1,6 tot -2,0% per jaar afgenomen.

Hieronder volgt een toelichting op de beide factoren die de efficiency bepalen.

Elektriciteitsverbruik per programma

Er zijn geen gegevens beschikbaar over het gemiddelde elektriciteitsverbruik van de vaatwasmachines die geïnstalleerd zijn bij de huishoudens. Er zijn wel enkele bronnen die het elektriciteitsverbruik van *nieuwe* machines documenteren. De Energiewijzer en Novem (1996) geven ongeveer hetzelfde elektriciteitsverbruik per 65°C standaardprogramma van huidige (nieuwe) machines: circa 1,5 kWh per cyclus⁴⁹. De ontwikkeling over de zichtperiode

⁴⁷ BEK 1997.

⁴⁸ In de gangbare benaderingen van de energie-efficiency speelt de beladingsgraad geen rol; de efficiency wordt veelal benaderd als elektriciteitsverbruik per programma.

⁴⁹ Energiewijzer 1997; Novem, 1996.



1987-1997 kan worden ingeschat (op basis van deze zelfde bronnen en de Consumentengidsen) op $-1,6\%$ per jaar. Deze waarde wordt bevestigd door gegevens ontleend aan Holsteijn en Kemna (1999), op grond waarvan het elektriciteitsverbruik eveneens met $-1,6\%$ per jaar is verbeterd in de zichtperiode van dit onderzoek.

Vaatwasgedrag:

Naast het elektriciteitsverbruik per programma heeft het wasgedrag invloed op het gemiddelde elektriciteitsverbruik per kilogram wasgoed:

- beladingsgraad: deze is gemiddelde toegenomen met 0 tot $+0,4\%$ per jaar. Een toename van de beladingsgraad betekent een afname van het elektriciteitsverbruik per couvert;
- wastemperatuur: er zijn geen gegevens gevonden over een verandering in de keuze van vaatwasprogramma's door de consument.

Op grond van deze gegevens veronderstellen we dat het vaatwasgedrag resulteert in een afname van het elektriciteitsverbruik per couvert met gemiddeld $0,4\%$ per jaar.

4.3.3 Kostprijs van reinigen van serviesgoed

De reële kostprijs per functie-eenheid wordt voor de functie reinigen van serviesgoed uitgedrukt per couvert (in guldens van 1997). Deze is opgebouwd uit twee elementen:

- vaste kosten: de kosten voor de aanschaf van de vaatwasmachine, toegerekend aan een couvert vaat;
- variabele kosten: de energie-, water- en wasmiddelkosten per couvert.

Deze kosten zijn als volgt berekend:

Vaste kosten:

- op basis van Consumentengidsen (en eventueel aanvullende bronnen) is de ontwikkeling in de nominale aanschafprijs per vaatwasmachine bepaald;
- per jaar is deze nominale prijs met behulp van de CPI omgezet in een reële prijs;
- de reële aanschafprijs is vervolgens omgerekend naar de gemiddelde vaste kosten per apparaat per jaar, waarbij uitgegaan is van de gemiddelde levensduur (12 jaar)⁵⁰ en een afschrijving van 4% per jaar;
- met behulp van de ontwikkeling van het aantal couverts per vaatwasmachine per jaar, zijn de gemiddelde kosten per couvert bepaald.

Variabele kosten:

- gegevens over het elektriciteitsverbruik per vaatwasprogramma zoals die zijn ingeschat bij de efficiency, zijn de basis (zie paragraaf 4.4.2);
- met behulp van het aantal couverts per wasprogramma (beladingsgraad) wordt het elektriciteitsverbruik per functie-eenheid bepaald;
- met behulp van de reële elektriciteitsprijs wordt het verbruik omgerekend naar variabele (reële) kosten per couvert;
- overige variabele kosten (water en wasmiddel) worden meegenomen. De berekening is analoog aan die van de elektriciteitskosten.

In Tabel 21 staat aangegeven hoe deze kosten zich in de zichtperiode van het onderzoek hebben ontwikkeld.

⁵⁰ Informatie van Whirlpool.

Tabel 21 Ontwikkeling van de reële kostprijs per couvert in de periode 1987-1997

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per couvert in de periode 1987-1997 (% per jaar)			Reële kostprijs per couvert in 1997 (gulden van 1997)	Verhouding tussen vaste en variabele kosten
	Totale reële kostprijs	Reële vaste kostprijs	Reële variabele kostprijs		
Reinigen van serviesgoed	-5,1 tot -3,5	-9,0 tot -5,0	-2,0 tot -1,6	12 cent	40-60

In de periode 1987-1997 is de reële kostprijs van het reinigen van een couvert met gemiddeld $-5,1$ tot $-3,5\%$ per jaar afgenomen.

In 1997 bedroeg deze kostprijs circa 12 cent (gulden van 1997). Hiervan is 40% vaste en 60% variabele kosten.

Hieronder staat aangegeven hoe de vaste en variabele kosten zich hebben ontwikkeld.

Vaste kosten

De aanschafprijs van vaatwasmachines is (nominaal) in de periode 1987-1997 nauwelijks veranderd: op basis van de gegevens in de Consumentengidsen is een gemiddelde prijsstijging van minder dan 1% per jaar gevonden. In 1986 kostte een vaatwasmachine gemiddeld circa 1.300 gulden, terwijl dat in 1997 circa 1.450 gulden was⁵¹. De reële prijs geeft een lichte daling te zien: gemiddeld circa -1% per jaar in dezelfde periode.

Het gemiddelde aantal couverts dat per apparaat per jaar wordt gereinigd, is in het afgelopen decennium toegenomen met circa $+4$ tot $+8\%$ per jaar, waarbij de marge een gevolg is van de onzekerheid omtrent de wasfrequentie (zie paragraaf 4.3.1). Uitgaande van de ondergrens, $+4\%$ per jaar, nemen de reële vaste kosten voor de reiniging van een couvert met gemiddeld $-5,0\%$ per jaar af (in de periode 1986-1997). Uitgaande van de bovengrens ($+8\%$) is dit circa $-8,7\%$ per jaar.

De vaste kosten bedragen daarmee in 1997 circa 4 tot 5 cent per couvert.

Variabele kosten

De reële variabele kosten zijn samengesteld uit de reële kosten voor elektriciteit, water en wasmiddel die nodig zijn per couvert. De ontwikkeling ervan in de periode 1987-1997 is als volgt:

Reële variabele kosten per couvert	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling over de periode 1987-1997
Elektriciteit	-2,2 tot -1,7 % p.j.
Water en wasmiddel	-1,8 tot -1,4 % p.j.
Totaal	-2,0 tot -1,6 % p.j.

De reële kosten van water en wasmiddel bedroegen in 1997 circa 3 cent per couvert, en de elektriciteitskosten circa 4 cent.

⁵¹ Consumentengids 1986 (bij gebrek aan gegevens over 1987) en informatie Bosch 1997.



4.3.4 Samenvatting resultaten reinigen van serviesgoed

In onderstaande tabel zijn de resultaten uit de vorige paragrafen samengevat. In paragraaf 4.6 wordt op basis van de resultaten van alle reinigingsfuncties ingegaan op de interpretatie ervan.

Tabel 22 Ontwikkeling van elektriciteitsverbruik, functiegebruik, kostprijs en efficiency voor de functie reinigen van serviesgoed

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per couvert in de periode 1987-1997 (% per jaar)				
	Functiegebruik	Efficiency (literatuur)	Reële kostprijs	Aandeel elektriciteitskosten in kostprijs	Elektriciteitsverbruik
Eenheid	% p.p.p.j.	% p.j. per couvert	% p.j. per couvert	%	% p.p.p.j.
Reinigen van serviesgoed	18,1 tot 23,3	-2,0 tot -1,6	-5,1 tot -3,5	35% ⁵²	16,0 tot 21,6

4.4 Stofzuigen

In de hierna volgende paragrafen wordt een analyse gegeven van het functiegebruik van wassen (paragraaf 4.4.1), de efficiency-ontwikkeling (paragraaf 4.4.2) en de ontwikkeling van de kostprijs om een kilogram wasgoed te wassen (paragraaf 4.4.3).

4.4.1 Functiegebruik van stofzuigen

We definiëren het functiegebruik van stofzuigen als volgt: *het stofzuigervermogen en de stofzuigertijd die gemiddeld per persoon worden ingezet per jaar*⁵³.

Het functiegebruik hangt af van de volgende factoren:

- het gemiddeld vermogen per apparaat;
- stofzuigtijd: uren stofzuigen per persoon per jaar;
- de penetratie van de stofzuiger in de Nederlandse huishoudens;
- het aantal personen per huishouden.

Uit het vermogen en de stofzuigtijd wordt het gemiddeld aantal uren stofzuigen per apparaat berekend. De penetratiegraad bepaalt vervolgens (door vermenigvuldiging) het aantal uren per huishouden per jaar. Tenslotte levert het delen door het aantal personen per huishouden het aantal uren per persoon per jaar op.

⁵² Dit betreft de elektriciteitskosten. De variabele kosten (inclusief wasmiddel en water) beslaan circa 60% van de totale kostprijs.

⁵³ Bij stofzuigen gaat het uiteindelijk om het aantal vierkante meters met een zeker 'stofvrij' gehalte dat in een bepaalde tijd is gerealiseerd. Dit is echter geen bruikbare maat omdat gegevens ontbreken. We benaderen dit door (i) te veronderstellen dat het vermogen van de stofzuiger een maat is voor het aantal vierkante meters dat 'stofvrij' gemaakt kan worden: bij een groter vermogen kan in dezelfde tijd een groter oppervlak worden gezogen, en/of kan een grotere mate van 'stofvrij' worden bereikt. We veronderstellen (ii) dat de tijd die gemiddeld per persoon (per jaar) besteed wordt aan stofzuigen een maat is voor de tijd die nodig is om een bepaalde mate van 'stofvrij' te verkrijgen.

In Tabel 23 staat een overzicht van de factoren die het functiegebruik bepalen.

Tabel 23 Functiegebruik stofzuigen (uren en ingezette vermogen stofzuigen p.p.p.j.) over de periode 1987-1997

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling (% p.j.)				
	Functiegebruik (p.p.)	Vermogen	Stofzuigtijd	Penetratie	Gezinsverdunding
Stofzuigen	-0,4	0	-1,3	+0,1	+0,8

Het functiegebruik is in de zichtperiode van het onderzoek zeer licht gedaald, met circa -0,4% per jaar.

In 1997 wordt er gemiddeld per persoon circa 30 uur per jaar gestofzuigd (met een vermogen van 1150 Watt). Dit komt overeen met gemiddeld circa een half uur per persoon per week.

Hierna worden de vier factoren die het functiegebruik bepalen, besproken.

Vermogen

Op basis van gegevens uit de Consumentengidsen blijkt dat het gemiddeld vermogen van een stofzuiger in de periode 1987-1997 hetzelfde is gebleven, namelijk circa 1150 Watt⁵⁴. Na 1997 is het gemiddeld vermogen per apparaat waarschijnlijk aan het toenemen. BEK '97 geeft aan dat er in 1997 naast stofzuigers van 1000 Watt ook stofzuigers met een vermogen van 1400 Watt op de markt waren. In de Consumentengids 1998 was het gemiddeld vermogen 1300 Watt⁵⁵. Omdat we geen gegevens hebben gevonden die onderbouwen dat de trend naar een groter vermogen in de periode 1987-1997 al merkbaar was, gaan we ervan uit dat het vermogen van stofzuigers tussen 1987 en 1997 niet substantieel is toegenomen.

Stofzuigtijd

Het aantal uren dat men in een huishouden gemiddeld besteedt aan stofzuigen, neemt af. Een mogelijke oorzaak voor de afname is het toenemend gebruik van parket en plavuizen in plaats van vloerbedekking⁵⁶. Op basis van een onderzoek van het Sociaal Cultureel Planbureau (SCP) schatten we de afname in de periode 1987-1997 op -1,3% per jaar (van circa 95 naar circa 85 minuten per week)⁵⁷.

Penetratie

Het bezit van stofzuigers is in de periode 1987-1997 nagenoeg gelijk gebleven: circa 99% van de huishoudens heeft een stofzuiger⁵⁸. Ook vóór 1987 was de penetratiegraad hoog: in 1975 had eveneens circa 99% van de Ne-

⁵⁴ Consumentengidsen van mei 1992, mei 1996 en april 1997.

⁵⁵ Consumentengids april 1998.

⁵⁶ Boonekamp & Jeeninga, 1999.

⁵⁷ Volgens dit onderzoek is de tijdsbesteding aan stofzuigen per huishouden tussen 1975 en 1991 afgenomen van 113 naar 91 minuten per week, hetgeen overeenkomt met een afname van -1,3% per jaar. Deze trend is doorgetrokken voor de gehele zichtperiode. Het BEK 1995 en 1997 gaat uit van 70 minuten per week, hetgeen gebaseerd is op de informatie van een stofzuigerfabrikant. Het onderzoek over de lange tijdsperiode van het CPB achten we representatief voor de gehele zichtperiode.

⁵⁸ De exacte gegevens: de penetratiegraad is toegenomen van 98,7 (1987) tot 99,5 (1997). Bron: BEK '97.



derlandse huishoudens een stofzuiger⁵⁹. De penetratiegraad heeft dus nauwelijks invloed op de ontwikkeling van het functiegebruik voor stofzuigen.

Gezinsverduunning

Door de gezinsverduunning neemt de tijdsbesteding per persoon 0,8%-punt minder af dan die per huishouden. Immers: gemiddeld wordt de stofzuigertijd verdeeld over een steeds kleiner aantal personen, hetgeen resulteert in meer tijd per persoon.

4.4.2 Efficiency van stofzuigen

Het elektriciteitsverbruik per uur stofzuigen wordt bepaald door het vermogen. Dit is in de zichtperiode constant gebleven, zoals verwoord is in de vorige paragraaf. Dit betekent dat de energie-efficiency in de periode 1987-1997 niet is veranderd.

4.4.3 Kostprijs van stofzuigen

De reële kostprijs per functie-eenheid wordt voor de functie stofzuigen uitgedrukt per uur stofzuigen (in guldens van 1997). Deze is opgebouwd uit twee elementen:

- vaste kosten: de kosten voor de aanschaf van de stofzuiger, toegerekend aan een uur stofzuigen;
- variabele kosten: de energiekosten.

Deze kosten zijn als volgt berekend:

Vaste kosten:

- op basis van Consumentengidsen (en eventueel aanvullende bronnen) is de ontwikkeling in de nominale aanschafprijs per stofzuiger bepaald;
- per jaar is deze nominale prijs met behulp van de CPI omgezet in een reële prijs;
- de reële aanschafprijs is vervolgens omgerekend naar de gemiddelde vaste kosten per stofzuiger per jaar, waarbij uitgegaan is van de gemiddelde levensduur (10 jaar)⁶⁰ en een afschrijving van 4% per jaar;
- met behulp van de ontwikkeling van het aantal uren stofzuigen per apparaat per jaar zijn de gemiddelde kosten per uur stofzuigen bepaald.

Variabele kosten:

- uitgaande van een vermogen van 1150 Watt, is het elektriciteitsverbruik 1,15 kWh;
- met behulp van de reële elektriciteitsprijs wordt het verbruik omgerekend naar reële elektriciteitskosten per uur stofzuigen.

In Tabel 24 staat aangegeven hoe deze kosten zich in de zichtperiode van het onderzoek hebben ontwikkeld.

⁵⁹ Volgens een onderzoek van de VDEN onder ruim 7000 huishoudens; bron: Albers,R., e.a., SWOKA, 1988.

⁶⁰ Eigen inschatting van de onderzoekers, geen informatie voorhanden.

Tabel 24 Ontwikkeling van de reële kostprijs per kilogram gewassen wasgoed in de periode 1987-1997

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per uur stofzuigen (vermogen 1150 Watt) in de periode 1987-1997 (% per jaar)				
	Totale reële kostprijs	Reële vaste kostprijs	Reële <i>variabele</i> kostprijs	Reële kostprijs per uur stofzuigen in 1997 (gulden van 1997)	Verhouding tussen vaste en variabele kosten
Stofzuigen	-0,6	-0,7	-0,5	81 cent	65-35

In de periode 1987-1997 is de reële kostprijs van een uur stofzuigen (vermogen 1.150 Watt) met gemiddeld -0,6% per jaar afgenomen.

De totale reële kostprijs per uur stofzuigen bedraagt in 1997 gemiddeld circa 81 cent (gulden van 1997). Hiervan bestaat 65% uit vaste en 35% uit variabele kosten.

Hieronder staat aangegeven hoe de vaste en variabele kosten zich hebben ontwikkeld.

Vaste kosten

De aanschafprijs van stofzuigers zijn (nominaal) in de periode 1986-1997 niet veranderd: een stofzuiger kostte in de gehele periode circa 300 gulden. De reële prijs is gedaald met iets minder dan -2% per jaar in dezelfde periode.

Het aantal uren dat gemiddeld per jaar met een apparaat wordt gestofzuigd, is afgenomen met circa -1,3 % per jaar. Dit betekent dat de reële vaste kosten per uur stofzuigen met circa -0,7% per jaar zijn afgenomen over de periode 1987-1997.

Variabele kosten

Vanwege het gelijkblijvend vermogen is het elektriciteitsverbruik per uur stofzuigen niet veranderd. De reële elektriciteitskosten zijn met -0,5% per jaar afgenomen.

4.4.4 Samenvatting resultaten van stofzuigen

In onderstaande tabel zijn de resultaten uit de vorige paragrafen samengevat. In paragraaf 4.6 wordt op basis van de resultaten van alle reinigingsfuncties ingegaan op de interpretatie ervan.

Tabel 25 Ontwikkeling van elektriciteitsverbruik, functiegebruik, kostprijs en efficiency voor de functie stofzuigen

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per uur stofzuigen in de periode 1987-1997 (% per jaar)				
	Functiegebruik	Efficiency (literatuur)	Reële kostprijs	Aandeel elektriciteitskosten in kostprijs	Elektriciteitsverbruik
<i>Eenheid</i>	<i>% p.p.p.j.</i>	<i>% p.j. per uur</i>	<i>% p.j. per uur</i>	<i>%</i>	<i>% p.p.p.j.</i>
Stofzuigen	-0,4	0	-0,6	35	-0,4



4.5 Elektriciteitsverbruik aan reinigen

In 1997 werd *per huishouden* gemiddeld circa 690 kWh per jaar verbruikt voor de functie reinigen. Dit is circa 20% van het huishoudelijk elektriciteitsverbruik⁶¹.

In de periode 1987-1997 is dit elektriciteitsverbruik per persoon in het afgelopen decennium met circa 4 tot 8% per jaar toegenomen.

Aan deze groei dragen de wasdroger en de vaatwasmachine in grote mate bij: het elektriciteitsverbruik per persoon voor deze apparaten is gemiddeld meer dan 10% per jaar toegenomen. Het gemiddelde verbruik door de wasmachine en de stofzuiger neemt daarentegen af. In Tabel 26 volgt een overzicht van de trends en het percentage van het totale energieverbruik per persoon dat het betreffende apparaat voor zijn rekening neemt (1997).

De ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik geeft een behoorlijke discrepantie te zien tussen BEK gegevens en de resultaten van onze analyse. In Tabel 26 vindt u een overzicht.

Tabel 26 Ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik per persoon aan de functie reinigen, over de periode 1987 - 1997

	Percentage dat het apparaat bijdraagt aan het elektriciteitsverbruik per persoon aan reinigen in 1997	Ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik (berekend)	Ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik (volgens BEK)
Wasmachine	32%	-2,7 tot +0,7	-0,5 % p.j.
Wasdroger	42%	+10,7 tot +16,0	+9,2 % p.j.
Vaatwasmachine	13%	+16,1 tot +21,7	+8,6 % p.j.
Stofzuiger	8%	-0,4	-0,2 % p.j.
<i>Totaal</i>	<i>95%</i>		<i>+3,5% p.j.</i>

Volgens onze berekeningen is het elektriciteitsverbruik sterker gestegen dan volgens BEK, met name voor de vaatwasmachine en (in mindere mate) de wasdroger. De oorzaak is dat de aannamen die ten grondslag liggen aan de BEK-gegevens voorzichtiger zijn dan uit onze analyse blijkt:

Vaatwasmachine

Het elektriciteitsverbruik is in BEK berekend op basis van de veronderstelling dat het elektriciteitsverbruik per vaatwasmachine met gemiddeld -2,3% per jaar is afgenomen. Op basis van ons onderzoek is gebleken dat de wasfrequentie naar inschatting met 4 tot 8% per jaar is toegenomen, de belading met 0,5% per jaar, en de efficiency verbeterd is met -1,6 per jaar. Dit betekent dat op grond van deze gegevens het elektriciteitsverbruik per apparaat toegenomen zou moeten zijn met circa 3 tot 7% per jaar. Onder deze aannamen zou het elektriciteitsverbruik per persoon eveneens veel sterker zijn toegenomen dan uit de gegevens van BEK blijkt.

Wasdroger

Het elektriciteitsverbruik is in BEK berekend op basis van de veronderstelling dat de bedrijfstijd (de wasfrequentie) nauwelijks is toegenomen. Op basis van ons onderzoek is gebleken dat de wasfrequentie naar inschatting met 4 tot 8% per jaar is toegenomen. Wanneer in BEK een hogere aanname

⁶¹ EnergieNed, BEK '97.

gedaan zou zijn van de wasfrequentie, zou het energiegebruik hoger zijn uitgekomen.

4.6 Interpretatie van de resultaten - functie reinigen

In deze paragraaf wordt, op basis van de resultaten die in de voorgaande paragrafen zijn gepresenteerd, beargumenteerd of bij de functie reinigen onderbouwd kan worden dat een gedeelte van de ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik verklaard kan worden door de werkzaamheid van een prijseffect.

In onderstaande tabel zijn de resultaten uit de vorige paragrafen samengevat.

Tabel 27 Ontwikkeling van elektriciteitsverbruik, functiegebruik, kostprijs en efficiency voor de functie reinigen

		Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling functie-eenheid in de periode 1987-1997 (% per jaar)				
Type apparatuur	Functiegebruik	Efficiency (literatuur)	Reële kostprijs	Aandeel elektriciteitskosten in kostprijs	Elektriciteitsverbruik	
<i>Eenheid</i>	<i>p.p.p.j.</i>	<i>Per liter functie-eenheid</i>	<i>per functie-eenheid</i>	%	<i>p.p.p.j.</i>	
Wassen van wasgoed	1,9 tot 2,2	-4,6 tot -1,5	-1,9 tot -0,8	17% ⁶²	-2,7 tot +0,7	
Drogen van wasgoed	11,3 tot 14,5	-0,6 tot 1,5	-3,6 tot -1,5	70%	+10,7 tot +16,0	
Reinigen van serviesgoed	18,1 tot 23,3	-2,0 tot 1,6	-5,1 tot -3,5	35% ⁶³	+16,1 tot 21,7	
Stofzuigen	-0,4	0	-0,6	35%	-0,4	
<i>Gemiddelde (gewogen)</i>	<i>8,6 tot 10,6</i>	<i>-4,6 tot 1,5</i>	<i>-2,5 tot -1,3</i>		<i>+4,0 tot 9,1</i>	

Relatie tussen functiegebruik en kostprijs: is een prijseffect werkzaam?

Uit de tabel blijkt dat bij alle reinigingsfuncties, met uitzondering van stofzuigen, sprake is van een stijging van het functiegebruik in combinatie met een daling van de gemiddelde kostprijs per functie-eenheid. Bij deze apparaten zou een prijseffect werkzaam kunnen zijn.

Van stofzuigen is het functiegebruik licht afgenomen, hetgeen verklaard zou kunnen worden door een toename van parket en plavuizen in plaats van vloerbedekking. Hierdoor heeft men minder tijd nodig om hetzelfde oppervlak te stofzuigen⁶⁴. De prijs van stofzuigen is slechts licht gedaald. Een prijseffect is bij stofzuigen daarom niet vast te stellen.

⁶² Dit betreft de *elektriciteitskosten*. De variabele kosten (inclusief wasmiddel en water) beslaan circa 65% van de totale kostprijs.

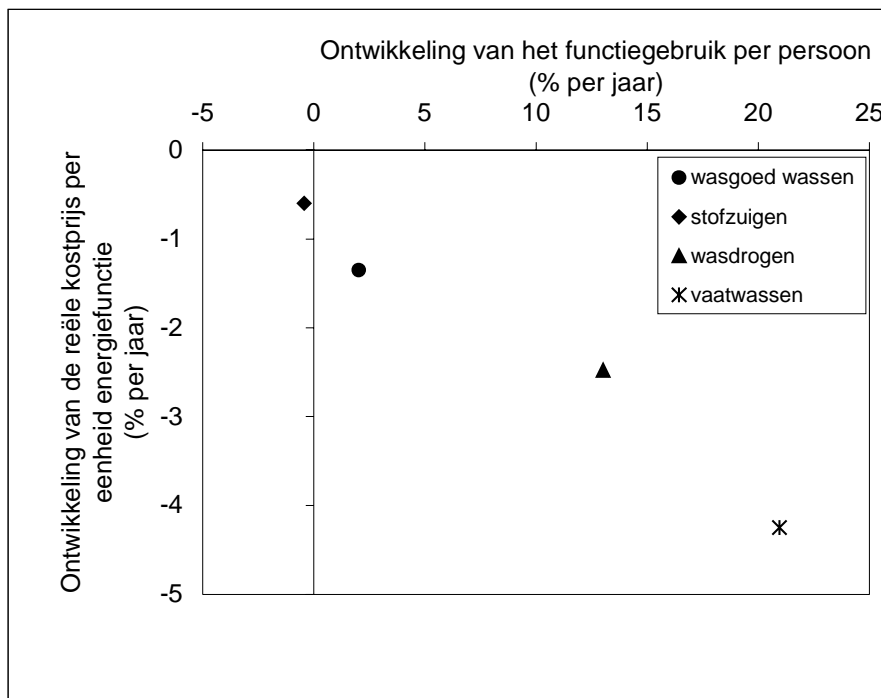
⁶³ Dit betreft de *elektriciteitskosten*. De variabele kosten (inclusief wasmiddel en water) beslaan circa 60% van de totale kostprijs.

⁶⁴ Zie ook Boonekamp, 1999.



In onderstaande figuur is de ontwikkeling van het functiegebruik en van de kostprijs (gemiddelde waarden) tegen elkaar uitgezet.

Figuur 2 De gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling van het functiegebruik over de periode 1987-1997 afgezet tegen die van de reële kostprijs over dezelfde periode, voor de functie reinigen (in gemiddelde mutatie per jaar)



Uit de figuur is af te lezen dat wassen van wasgoed, wasdrogen en vaatwassen zich bevinden in het rechter onder kwadrant, het kwadrant waar een functiestijging gepaard gaat met een kostprijsdaling. Het verband is redelijk consistent.

Het verband tussen het functiegebruik en de kostprijs is voor wasdrogen en vaatwassen het sterkst. Het functiegebruik is sterk toegenomen door de sterke toename van de penetratie van deze apparaten in Nederlandse huishoudens: de toename van beide apparaten bedroeg ruim 10% per jaar.

Conclusie

Op grond van bovenstaande trekken we de volgende conclusie:

- voor de functies wassen en drogen van wasgoed en vaatwassen is op grond van de statistische relatie tussen het functiegebruik en de kostprijs te verwachten dat een prijseffect werkzaam is;
- voor drogen van wasgoed en vaatwassen is het statistisch verband sterk;
- voor stofzuigen is geen prijseffect vast te stellen omdat het functiegebruik licht is afgenomen, waarschijnlijk vanwege de toename van plavuizen en parket in plaats van vloerbedekking.



5 Functie verlichting

5.1 Functiegebruik verlichting

Het functiegebruik, de prestatie die met behulp van verlichting wordt geleverd, is een bepaalde tijd licht ter beschikking hebben van een bepaalde lichtsterkte, die uitgedrukt kan worden in lumen. Als eenheid voor de functie verlichting gebruiken we:

het aantal lumenuur licht dat gemiddeld per persoon per jaar wordt gebruikt.

Het functiegebruik hangt af van de volgende factoren:

- aantal lampen per huishouden;
- vermogen en de lumen/Watt-verhouding van de lampen;
- gemiddeld aantal branduren per lamp;
- gezinsverdunning: het aantal personen per huishouden.

Er is een onderscheid gemaakt naar gloei-, TL-, spaar- en halogeenlampen. Per type is het totale vermogen per huishouden bepaald op basis van BEK-gegevens⁶⁵. Met behulp van lumen/Watt-verhoudingen per type lamp is het aantal lumen per lamptype bepaald. Vermenigvuldiging met het gemiddeld aantal branduren per lamptype geeft het aantal lumenuur per huishouden, hetgeen met behulp van het aantal personen per huishouden omgerekend wordt tot het aantal lumenuur per persoon per jaar.

Vanwege een gebrek aan geschikte gegevens per lamptype over het jaar 1987 is de trend over de periode 1988-1997 bepaald. Deze is vervolgens verondersteld representatief te zijn voor de periode 1987-1997.

In Tabel 28 staat een overzicht van de factoren die het functiegebruik bepalen.

Tabel 28 Functiegebruik verlichting (lumenuur p.p.p.j.) over de periode 1987-1997

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling (% p.j.)					
	Functiegebruik (p.p.)	Aantal lampen	Vermogen per lamp	Lumen/Watt verhouding	Branduren per lamp	Gezinsverdunning
Gloeilampen	1,3 tot 3,6	0,3	-0,9 tot 1,3	2,0	-0,9	0,8
TL-lampen	-1,8 tot -1,2	1,9	-0,9 tot -0,3	1,2	-4,7	0,8
Spaarlampen	11,4	12,9	-2,2	1,4	-0,9	0,8
Halogeenlampen	28,9 tot 30,7	29,2 ⁶⁶	-0,6 tot +0,7	0,4	-0,9	0,8
<i>Gemiddelde</i>	1,2 tot 2,5					

⁶⁵ Voor 1987 is het totale vermogen per lamptype gegeven; voor 1988 is dit berekend door vermenigvuldiging van het aantal lampen en het gemiddelde vermogen per type lamp; voor 1995 en 1997 is dit ontleend aan de gedetailleerde gegevens met betrekking tot het gemiddeld aantal lampen per lamptype per vertrek en het vermogen hiervan.

⁶⁶ Bij dit hoge percentage moet de kanttekening gemaakt worden dat deze waarde een grote onzekerheidsmarge heeft omdat halogeenlicht begin van de jaren negentig nieuw op de markt kwam en relatief snel groeide terwijl de absolute hoeveelheden erg klein waren. Vanaf circa 1994 achten we de berekende trend representatief voor de feitelijke ontwikkeling.

Het functiegebruik is gemiddeld met 1,2 tot 2,5% per persoon per jaar toegenomen. In absolute zin bedroeg het functiegebruik in 1997 circa 4,8 miljoen lumenuur per persoon.

Hieronder worden de vier factoren die het functiegebruik bepalen, besproken.

Aantal lampen per huishouden

Er worden steeds meer lampen aangeschaft om het huis van binnen en van buiten te verlichten. Het aantal lampen per huishouden is in de periode 1987-1997 gemiddeld met 2,1% per jaar toegenomen volgens een onderbouwde inschatting van het CPB op basis van de BEK-gegevens⁶⁷. In 1987 had men gemiddeld 29 lampen, in 1997 was dat toegenomen tot 36. De verdeling over de verschillende typen lampen is als volgt:

Tabel 29 Ontwikkeling van het aantal lampen per huishouden, naar type, over de periode 1987-1997

Type lamp	Aantal lampen per huishouden in 1987	Aantal lampen per huishouden in 1997	Gemiddelde mutatie per jaar (% p.j.)
Gloeilampen	25	26	0,3 % p.j.
TL-lampen	3	4	1,9% p.j.
Spaarlampen	1	3	12,9 % p.j.
Halogeenlampen	0	3	29,2 % p.j.
<i>Totaal</i>	29	36	2,0 % p.j.

Uit bovenstaande tabel is af te lezen dat:

- er een absolute toename plaatsvindt van het aantal lampen;
- er een lichte verschuiving plaatsvindt van gloeilampen naar halogeen- en spaarlampen.

Halogeenlampen hebben pas de laatste jaren hun intrede gedaan. Ze worden in toenemende mate toegepast, met name als accentueerverlichting in bijvoorbeeld woonkamers. TL-lampen worden al enkele decennia toegepast op plaatsen met een grote, langdurige lichtbehoefte, waarbij de sfeer geen rol speelt. Spaarlampen worden eveneens veelal toegepast op plaatsen waar een langdurige lichtbehoefte is, maar meestal gaat het om een behoefte aan een geringe lichtsterkte. Als buitenverlichting is de spaarlamp bijvoorbeeld erg in trek. Begin jaren negentig is het gebruik fors toegenomen, mede dankzij acties om deze lampen onder de aandacht te brengen als besparingsoptie. De laatste jaren stagneert deze groei echter.

De toename van het aantal lampen per huishouden kan onder andere verklaard worden als gevolg van de toenemende individualisering, waardoor intensiever gebruik wordt gemaakt van de verschillende woonruimten in

⁶⁷ De vraagstelling in BEK naar verlichting is in de zichtperiode substantieel gewijzigd. Vanaf 1995 zijn gedetailleerde gegevens beschikbaar (de respondent wordt gevraagd per vertrek het aantal gloei-, tl-, spaar- en halogeenlampen aan te geven en het vermogen hiervan). In de periode 1992 tot en met 1994 werd voor 61 armaturen die in een woning aanwezig kunnen zijn gevraagd of deze inderdaad aanwezig was en om welk type lamp het ging. In de jaren 1987 tot en met 1991 werd gevraagd naar het totaal aantal van elk type lamp in het huishouden. De veranderde vraagstelling resulteerde in een aantal aanmerkelijke fluctuaties in de uitkomsten. Om dit op te vangen is, uitgaande van de gegevens van 1995 (die het meest betrouwbaar worden geacht) de ontwikkeling van het aantal lampen over de jaren 1987-1997 (met behulp van een trendvergelijking) door het CPB ingeschat. Bron: Brink, 1997.



huis. Dit betekent dat er ook relatief meer lichtpunten in die ruimten aanwezig zijn. In 1988 bevond 67% van de lampen zich buiten de woonkamer; in 1997 is dit 78%⁶⁸.

Vermogen per lamp en lumen/Watt-verhouding

Naast het aantal lampen bepaalt het vermogen en de lumen/Watt-verhouding per type lamp de uiteindelijke lichtsterkte in lumen. Per type lamp geldt: hoe groter het vermogen, hoe groter de lichtsterkte. Een gloeilamp van 100 Watt geeft immers meer licht dan één van 25 Watt. Hetzelfde geldt voor de andere typen lampen. We kunnen echter de vermogenssterktes van de verschillende typen niet vergelijken. Een tl-lamp van 25 Watt geeft bijvoorbeeld circa zes keer zoveel licht (uitgedrukt in lumen) als een gloeilamp met hetzelfde vermogen. En een halogeenlamp geeft ongeveer twee keer zoveel licht bij hetzelfde vermogen vergeleken met een gloeilamp.

Hieronder worden beide factoren, het vermogen en de lumen/Watt-verhouding, toegelicht.

1 Vermogen

Over de ontwikkeling van het gemiddeld vermogen per lamp (met andere woorden over het gedrag van huishoudens in het gebruikte wattage van lampen) is weinig bekend. Over de jaren 1995 tot en met 1997 is het gemiddelde vermogen per type lamp berekend uit de BEK-gegevens over deze jaren. Voor de jaren vóór 1995 zijn voor de gemiddelde wattages twee bronnen gebruikt, hetgeen resulteert in een boven- en onderwaarde (zie Tabel 28)⁶⁹.

2 Lumen/Watt-verhouding

Elk type lamp heeft een daaraan gelieerd lumen/Watt-vermogen. Dit geeft aan hoeveel lumen er per Watt wordt gerealiseerd, of omgekeerd, welk vermogen er nodig is voor een bepaalde lichtsterkte. Per type lamp is de lumen/Watt verhouding in 1997 naar inschatting als volgt⁷⁰:

Gloeilamp	13 lumen per Watt
TL-lamp	67 lumen per Watt
Spaarlamp	53 lumen per Watt
Halogeenlamp	21 lumen per Watt

De afgelopen tien jaar is er een technische verbetering geweest van deze lumen/Watt verhouding. Momenteel geeft bijvoorbeeld een gloeilamp van hetzelfde vermogen als 10 jaar geleden circa 20% meer licht (lumen)⁷¹.

Branduren per lamp

Nu we weten hoe de lichtsterkte die in potentie aanwezig is in huis zich heeft ontwikkeld, is de volgende stap om te kijken hoeveel gebruik er gemaakt wordt van dit vermogen.

⁶⁸ Op basis van BEK '88 en BEK '97.

⁶⁹ BEK '88: gloeilamp: 45 Watt; TL-lamp: 37 Watt; spaarlamp: 15 Watt; halogeenlamp: 25 Watt.

BEK '95: gloeilamp: 36 Watt; TL-lamp: 35 Watt; spaarlamp: 15 Watt; halogeenlamp: 22 Watt.

⁷⁰ Bronnen: Albers, R., e.a. (1988) (gloeilampen, spaarlampen); Stichting Vergelijkend Warenonderzoek, 1988 (spaarlampen, TL-lampen); Philips Catalogus 1999/2000 (gloe-, tl-, spaar- en halogeenlampen); mondelinge informatie Philips.

⁷¹ Mondelinge informatie Philips.

Helaas zijn alleen over de periode 1995-1997 gegevens beschikbaar. Het gemiddeld aantal branduren per lamp is volgens berekening afgenomen van 415 in 1995 tot 406 in 1997, een afname met $-0,7\%$ per jaar. Per lamptype is de afname opgenomen in Tabel 28.

Deze afname klopt met de verwachting: er komen overal in huis meer lichtpunten, maar deze branden gemiddeld niet allemaal even lang als de oorspronkelijke lichtpunten.

Het lijkt aannemelijk dat het gemiddeld aantal branduren per lamp ook in de periode waarover we geen gegevens hebben is afgenomen (omdat het aantal lichtpunten toenam). We veronderstellen dat de trend tussen 1995 en 1997 representatief is voor de gehele zichtperiode.

Gezinsverduunning

Ten gevolge van de gezinsverduunning, het afnemend aantal personen per huishouden, neemt het gemiddeld aantal lumenuur *per persoon* sterker toe dan het aantal lumen per huishouden.

5.2 Efficiency van verlichting

Voor verlichting wordt de energie-efficiency in dit onderzoek uitgedrukt als het elektriciteitsverbruik dat nodig is per lumenuur, dat wil zeggen het elektriciteitsverbruik dat nodig is om één uur lang een lichtsterkte van één lumen te verkrijgen.

Het elektriciteitsverbruik per lumen wordt bepaald door het aantal Watt dat nodig is om de lumen te genereren. Met andere woorden: de lumen/Watt verhouding is bepalend voor het elektriciteitsverbruik per lumen.

De gemiddelde lumen/Watt verhouding van het gehele licht'park' van de huishoudens verbetert door:

- de ontwikkeling van de lumen/Watt verhouding per lamptype;
- een verschuiving van gloeilampen naar halogeen- en spaarlampen; deze laatste typen hebben een hogere lumen/Watt verhouding en dus een lager elektriciteitsverbruik per lumen.

De ontwikkeling van beide factoren in de zichtperiode 1987-1997 is weergegeven in Tabel 30.

Tabel 30 Efficiency-ontwikkeling van verlichting (electriciteitsverbruik per lumenuur)

	Inschatting van de gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling voor periode 1987-1997 (% p.j.)			Watt per lumen in 1997
	Efficiency-ontwikkeling per lumenuur	Watt/lumen verhouding	Substitutie gloeilampen	
Gloeilampen	-2,0	-2,0	n.v.t.	7
TL-lampen	-1,2	-1,2	n.v.t.	1
Spaarlampen	-1,4	-1,4	n.v.t.	2
Halogeenlampen	-0,4	-0,4	n.v.t.	5
<i>Gewogen gemiddelde</i>	-1,8	-1,8	0	

Het elektriciteitsverbruik per lumenuur is in de periode 1987-1997 naar inschatting met gemiddeld $-1,8\%$ per jaar afgenomen.



Hieronder volgt een korte toelichting op de beide factoren.

Watt/Lumen verhouding

In de zichtperiode van het onderzoek zijn lampen gemiddeld technisch verbeterd in efficiency. Dit betekent echter niet dat ze minder energie gebruiken, maar dat ze gemiddeld meer lumen licht geven bij hetzelfde energiegebruik: meer lumen per Watt. De wattages van de lampen die op de markt zijn, zijn hetzelfde gebleven, maar ze genereren circa 10 tot 20% meer licht⁷².

De ontwikkeling van de Watt/lumen verhouding in de periode 1987-1997 is per lamptype weergegeven in Tabel 30.

Substitutie van gloeilampen door spaar- en halogeenlampen.

Het gemiddelde verlichtingspark verbetert in efficiency wanneer gloeilampen worden vervangen door lampen met een lager elektriciteitsgebruik per lumen. Op zich hebben alle overige lamptypes een betere lumen/Watt verhouding dan de gloeilampen, en zou substitutie van gloeilampen door andere lamptypen een vermindering van het gemiddeld elektriciteitsverbruik per lumen opleveren. Halogeenlampen leveren in deze slechts een geringe efficiencyverbetering op (7 Watt per lumen voor gloeilampen, en 5 voor halogeenlampen).

In de zichtperiode is de groei van gloeilampen het geringst geweest vergeleken met die van de andere lamptypen. In 1988 waren circa 86% van de lampen in huis gloeilampen; in 1997 is dat afgenomen tot 72%. Dit betekent dat het elektriciteitsverbruik per lumenuur van het gehele park is afgenomen ten gevolge van de geringere groei van gloeilampen ten gunste van die van met name de halogeen- en spaarlampen. In absolute zin neemt het elektriciteitsverbruik echter toe vanwege de toename van het aantal lichtpunten: de efficiencyverbetering ten gevolge van de toename van andere lamptypen kan dit niet compenseren.

5.3 Kostprijs per lumenuur

De reële kostprijs per functie-eenheid wordt voor de functie verlichting uitgedrukt per lumenuur. Deze is opgebouwd uit twee elementen:

- vaste kosten: de kosten voor de aanschaf van lampen⁷³;
- variabele kosten: de energiekosten.

De reële kostprijs per functie-eenheid wordt voor de functie verlichting in principe uitgedrukt in de reële kostprijs per lumenuur. Dit bedrag is echter zo klein, dat ervoor gekozen is om de kostprijs uit te drukken in guldens per 1.000 lumen per 1.000 branduren. Dat wil zeggen: de kostprijs om 1.000 branduren lang een lichtsterkte van 1.000 lumen te realiseren. Duizend lumen komt ongeveer overeen met de lichtsterkte van een gloeilamp van 75 Watt⁷⁴. De levensduur van een gemiddelde gloeilamp bedraagt 1.000 uren⁷⁵. De ontwikkeling ervan komt uiteraard overeen met die per lumenuur.

⁷² Mondelinge informatie Philips.

⁷³ De kosten van armaturen en voorschakelapparatuur is buiten beschouwing gelaten.

⁷⁴ Deze heeft een vermogen van 920 lumen; bron: Vergelijkend Warenonderzoek 1988.

⁷⁵ Novem, kunstlichtbronnen, stand der techniek, 1996.

De kosten zijn als volgt berekend:

Vaste kosten:

- de gemiddelde nominale prijs per type lamp is met behulp van de gemiddelde levensduur per type lamp omgerekend naar de gemiddelde nominale prijs per 1.000 branduren;
- aan de hand van het gemiddeld vermogen per type lamp en de lumen/Watt-verhouding is de nominale prijs per 1.000 lumen en 1.000 branduren bepaald;
- met behulp van de CPI is de nominale prijs omgerekend in een reële prijs in guldens van 1997.

Variabele kosten:

De reële variabele kosten zijn de reële elektriciteitskosten per 1.000 lumen/1.000 branduren. Deze zijn op de volgende wijze berekend:

- op basis van de lumen/Watt-verhouding (en de ontwikkeling hierin) is het elektriciteitsverbruik per 1.000 lumen en 1.000 branduren berekend;
- met behulp van de reële elektriciteitsprijs voor kleinverbruikers zijn voor de betreffende jaren de reële variabele kosten berekend.

In Tabel 31 staat aangegeven hoe deze kosten zich in de zichtperiode van het onderzoek hebben ontwikkeld.

Tabel 31 Ontwikkeling van de reële kostprijs per lumenuur in de periode 1987-1997

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per lumenuur in de periode 1987-1997 (% per jaar)				
	Totale reële kostprijs	Reële vaste kostprijs	Reële variabele kostprijs	Reële kostprijs per 1.000 lumen en 1.000 branduren in 1997 (guldens van 1997)	Verhouding tussen vaste en variabele kosten (1997)
Gloeilampen	-2,3	-2,0	-2,4	26,-	30-70
TL-lampen	-1,3	-0,0	-1,6	4,50	15-85
Spaarlampen	-4,4	-6,0	-1,4	11,50	60-40
Halogeenlampen	-9,8	-13,7	-0,8	24,50	50-50
<i>Gewogen gemiddelde</i>	-3,0	-6,4	-2,3	23,00	

De reële kostprijs (per 1.000 lumen en 1.000 branduren) bedroeg in 1997 circa 23 gulden (guldens van 1997)⁷⁶. In de periode 1987-1997 is deze kostprijs met gemiddeld -3,0% per jaar afgenomen. Hieronder staat weergegeven hoe deze resultaten zijn berekend.

Vaste kosten

De nominale vaste kosten van gloei- en tl-lampen zijn in de periode 1987-1997 gestegen (beide met circa 1,3% per jaar). Die van spaar- en halogeenlampen zijn gedaald (beide met circa -7% per jaar). Omgerekend naar reële kosten per 1000 lumen/1000 branduren blijken alle lamptypen in kostprijs gedaald (waarvan tl-licht zeer gering). Een overzicht staat in Tabel 31.

⁷⁶ De prijs van de verschillende lamptypen is voor het verkrijgen van een totale gemiddelde kostprijs gewogen met de functiekosten per type.



Variabele kosten

De reële variabele kosten zijn gemiddeld jaarlijks afgenomen tussen -0,8 en -2,4 %. Een overzicht staat in Tabel 31.

De daling van de elektriciteitskosten wordt hoofdzakelijk door de efficiencyverbetering (Watt/lumen verhouding) bepaald. De ontwikkeling van de reële elektriciteitsprijs heeft hierop een geringe invloed.

5.4 Elektriciteitsverbruik aan verlichting

In 1997 werd *per huishouden* gemiddeld circa 540 kWh per jaar verbruikt voor verlichting in en om het huis. Dit is circa 16% van het huishoudelijk elektriciteitsverbruik⁷⁷.

De ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik over de periode 1987 – 1997, volgens BEK en op grond van onze analyse, staat weergegeven in Tabel 32.

Tabel 32 Ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik per persoon aan verlichting over de periode 1987 – 1997

	Percentage dat het lamptype bijdraagt aan het elektriciteitsverbruik per persoon aan verlichting in 1997	Ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik (volgens BEK)	Ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik (berekend)
Gloeilampen	75%	1,3% p.j.	-0,7 tot 1,6
TI-lampen	12%	2,5% p.j.	-3,0 tot 0,0
Spaarlampen	2%	9,8% p.j.	+10,4
Halogeenlampen	11%	18,5% p.j.	+29,5 tot 30,3
<i>Totaal</i>	<i>100%</i>	<i>2,6% p.j.</i>	<i>-0,6 tot +0,7</i>

Toelichting bij de gegevens uit BEK:

In de periode 1991-1997 is dit elektriciteitsverbruik aan de functie verlichting met gemiddeld 1,7% per jaar toegenomen⁷⁸. Over een langere periode, namelijk van 1988 tot 1997 is dit, eveneens op basis van BEK-gegevens, echter afgenomen met gemiddeld -2,7% per jaar. De oorzaak voor deze discrepantie is het feit dat gegevens over het elektriciteitsverbruik aan verlichting in 1988 op een andere manier zijn verkregen dan in de periode 1991-1997. In BEK 1988 kwam men tot een hoog gemiddeld elektriciteitsverbruik voor verlichting (710 kWh per huishouden per jaar) op basis van een onderzoek van de SEP⁷⁹.

Per lamptype is er een behoorlijke discrepantie tussen BEK en onze analyse voor ti-lampen. De reden is de aanname in ons onderzoek dat het aantal branduren per ti-lamp flink is gedaald tijdens de zichtperiode.

5.5 Interpretatie van de resultaten - functie verlichting

In deze paragraaf wordt, op basis van de resultaten die in de voorgaande paragrafen zijn gepresenteerd, beargumenteerd of bij de functie verlichting onderbouwd kan worden dat een gedeelte van de ontwikkeling van het elek-

⁷⁷ EnergieNed, BEK '97.

⁷⁸ Op basis van BEK '91 tot en met '97.

⁷⁹ Verlichting in de gezinshuishoudens, 1989.

triciteitsverbruik verklaard kan worden door de werkzaamheid van een prijseffect.

In onderstaande tabel zijn de resultaten uit de vorige paragrafen samengevat.

Tabel 33 Ontwikkeling van functiegebruik, efficiency, elektriciteitsverbruik en kostprijs

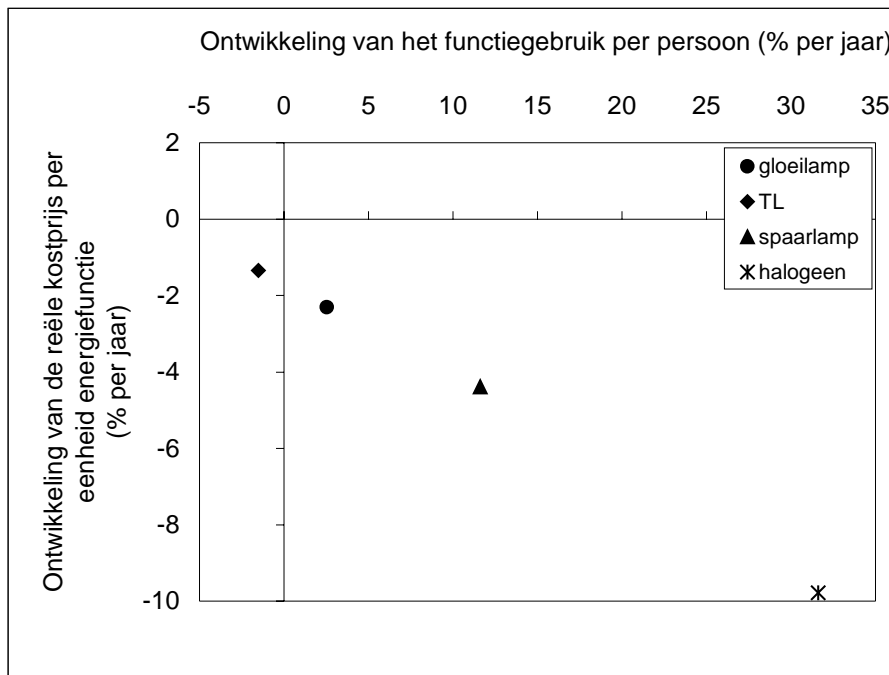
	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per lumenuur in de periode 1987-1997 (% per jaar)				
Type apparaat	Functiegebruik	Efficiency	Elektriciteitsverbruik (berekend)	Reële kostprijs	Aandeel elektriciteitskosten in kostprijs
<i>Eenheid</i>	<i>% p.p.p.j.</i>	<i>Per lumenuur</i>	<i>% p.p.p.j.</i>	<i>per lumenuur</i>	<i>%</i>
Gloeilampen	1,3 tot 3,6	-2,0	-0,7 tot +1,6	-2,3	70%
TL-lampen	-1,8 tot -1,2	-1,2	-3,0 tot 0,0	-1,3	85%
Spaarlampen	11,4	-1,4	+10,4	-4,4	40%
Halogeenlampen	28,9 tot 30,7	-0,4	+29,5 tot 30,3	-9,8	50%
<i>Gemiddelde (gewogen)</i>	<i>1,2 tot 2,5</i>	<i>-1,8</i>	<i>-0,6 tot +0,7</i>	<i>-3,0</i>	

Uit de tabel blijkt dat bij licht van gloeilampen, spaarlampen en halogeenlampen een stijging van het functiegebruik gepaard gaat met een daling van de gemiddelde kostprijs per lumenuur. Bij deze typen licht zou een prijseffect werkzaam kunnen zijn.

Bij verlichting door tl-lampen daalt het functiegebruik terwijl de kostprijs eveneens daalt. De afname van het functiegebruik is met name een gevolg van een sterke afname van het gemiddeld aantal branduren per lamp voor dit type verlichting (-4,7% per jaar). Voor deze trend is geen verklaring gevonden; het aantal tl-lampen per huishouden stijgt wel (1,9% per jaar). Wel moet bij dit getal de kanttekening gemaakt worden dat dit een afname is tussen 1995 en 1997, die doorgetrokken is voor de gehele zichtperiode. Wellicht moet deze waarde meer gezien worden als een tijdelijke fluctuatie.

In Figuur 3 is de ontwikkeling van het functiegebruik en van de kostprijs (gemiddelde waarden) tegen elkaar uitgezet.

Figuur 3 De gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling van het functiegebruik over de periode 1987-1997 afgezet tegen die van de reële kostprijs over dezelfde periode, voor de functie verlichting (in gemiddelde mutatie per jaar)



Uit de figuur is af te lezen dat verlichting van gloei-, spaar- en halogeenlampen zich bevindt in het rechter onder kwadrant, het kwadrant waar een functiestijging gepaard gaat met een kostprijzdaling.

Voor de laatste twee typen verlichting is het statistisch verband tussen het functiegebruik en de kostprijs het sterkst. Het functiegebruik neemt sterk toe door de sterke toename van het bezit van deze type lampen: gemiddeld circa 13 respectievelijk 29% per jaar⁸⁰.

Conclusie

Op grond van bovenstaande trekken we de volgende conclusie:

Prijseffect:

- voor de verlichtingsfuncties licht van gloei-, spaar- en halogeenlampen is op grond van de statistische relatie tussen het functiegebruik en de kostprijs te verwachten dat een prijseffect werkzaam is;
- er blijkt voor licht van spaar- en halogeenlampen een sterk statistisch verband te bestaan tussen het toegenomen functiegebruik en de afnemende kostprijs;
- voor tl-licht is geen prijseffect vast te stellen omdat het functiegebruik is afgenomen, vanwege de afname van het gemiddeld aantal branduren per lamp.

⁸⁰ Bij halogeenverlichting moet de kanttekening gemaakt worden dat het gaat om een verlichtingstype dat begin jaren negentig nieuw op de markt is gekomen, en dat een sterke groei te zien heeft terwijl het aantal lampen in absolute zin relatief beperkt is.



6 Overzicht van de resultaten

In tabel 34 is een overzicht gegeven van alle waarden die in de vorige hoofdstukken zijn gepresenteerd.

Tabel 34 Overzicht van de ontwikkelingen van het elektriciteitsverbruik, het functiegebruik, de kostprijs en de efficiency van de elektrische huishoudelijke functies in de periode 1987-1997

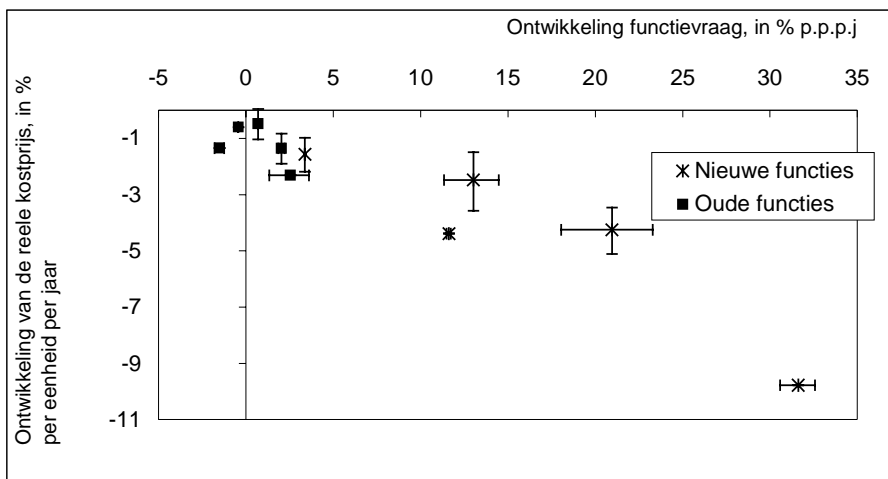
	Gemiddelde ontwikkeling in de periode 1987-1997 (% per jaar)				
	Elektriciteitsverbruik p.p.	Functiegebruik p.p.	Reële kostprijs per eenheid energie-functie	Aandeel elektriciteitskosten in kostprijs	Efficiency per eenheid energiefunctie
'Nieuwe' functies					
Drogen van wasgoed	10,8 tot 15,9	11,3 tot 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 halogeonlampen	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 twee⁸¹. 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.

In figuur 4 is een overzicht gegeven van de marges van de kostprijs en het functiegebruik zoals die in de vorige hoofdstukken zijn gepresenteerd.

Figuur 4 Overzicht van de boven- en onderwaarden van het functiegebruik en de kostprijs van de elektrische functies in huishoudens



⁸¹ 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.



7 Representativiteit van de onderzochte functies

In dit hoofdstuk wordt een onderbouwing gegeven voor de representativiteit van de onderzochte functies voor het totaal aan elektrische functies van huishoudens.

*Er zijn drie elektrische functies onderzocht: reinigen, koelen/vriezen, verlichting. Deze representeren 50% van het elektriciteitsverbruik. De resultaten van deze drie functies voor het **functiegebruik** achten we representatief voor het totale functiegebruik met de volgende onderbouwing:*

De groei van het functiegebruik van de drie functies wordt bepaald door:

Penetratie van apparaten	circa 2,9 %-pt
Gezinsverdunning	circa 0,8 %-pt
Overige effecten ⁸²	circa 1,7 tot 3,8 %-pt

Het *penetratie*-effect is representatief voor alle elektrische functies: dit kan worden vergeleken met een studie van CPB⁸³ waarbij het penetratie-effect voor 90% van het huishoudelijk elektriciteitsverbruik is onderzocht. Het CPB heeft dit effect berekend op 3% per jaar per huishouden (periode 1987-1995); het CE komt voor 50% van het elektriciteitsverbruik op een penetratie-effect van 2,9% p.j (periode 1987-1997).

Het effect van *gezinsverdunning* is 'hard' omdat het aantal personen per huishouden met gemiddeld -0,8% per jaar is afgenomen.

De *overige effecten* zijn het meest onzeker omdat tijdreeksen over de zichtperiode van het onderzoek niet kant en klaar aanwezig waren, en er diverse effecten onder vallen. Toch lijkt de uitkomst zoals berekend voor de drie functies plausibel:

- Het is zeker dat er 'overige effecten' zijn, namelijk in de vorm van veranderingen in de gemiddelde inhoud van koelapparaten, de wasfrequentie, de beladingsgraad, het vermogen, en het aantal branduren.
- Uit de berekeningen komt dat deze toename gemiddeld 1,7 tot 3,8% per jaar bedraagt, door een toename van:
 - het aantal liters koelruimte (p.p.) door een gemiddelde afname van de inhoud van een koelapparaat;
 - het aantal kilogrammen wasgoed/aantal couverts (p.p.) door een toename van de wasfrequentie in combinatie met een afname van de beladingsgraad;
 - het aantal lumenuur (p.p.) door een toename van het aantal lampen in combinatie met een afname van het gemiddeld aantal branduren per lamp.

Dit lijkt plausibel voor de onderzochte functies.

⁸² Veranderingen in de gemiddelde inhoud van koelapparaten, de wasfrequentie, de beladingsgraad, het vermogen, en het aantal branduren.

⁸³ Brink, 1997.

- Bij de overige (niet onderzochte) elektrische functies treden grofweg de volgende 'overige effecten' op:
- toename van het vermogen (televisie, computer);
- toename van de bedrijfstijd per apparaat (videorecorder, televisie, computer).
- Een gemiddelde toename van deze effecten met 1,7 tot 3,8% per jaar is, zonder verder onderzoek, wel aannemelijk.



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

Bijlage D

Warm tapwater in huishoudens en
elektrische functies in de utiliteit

Opgesteld door: Jessica van Swigchem
Bas Leurs
Folmer de Haan



Inhoud

1	Warm tapwater in huishoudens	101
1.1	Inleiding	101
1.2	Gasverbruik warm tapwater	101
1.3	Functiegebruik warm tapwater	102
1.4	Kostprijs van warm tapwater	103
1.5	Interpretatie van de resultaten	104
2	Elektrische functies in de utiliteit	107
2.1	Inleiding	107
2.2	Elektriciteitsverbruik utiliteit	108
2.3	Functiegebruik automatisering	108
2.4	Kostprijs van de functie automatisering	109
2.5	Interpretatie van de resultaten	111
2.6	Benodigde gegevens voor een analyse vanuit het functiegebruik	112

1 Warm tapwater in huishoudens

1.1 Inleiding

In dit hoofdstuk staan de resultaten beschreven van de analyse van het gebruik van warm tapwater in huishoudens. De bedoeling was dat dit, naast de elektrische functies in huishoudens, een illustratie zou zijn van het gedachtegoed op macro-niveau. De reden voor de keuze voor warm tapwater was, dat we vermoedden dat het gebruik van warm tapwater aan het toenemen was, namelijk door het feit dat sportbeoefening als vrijetijdsbesteding toeneemt (met als gevolg meer behoefte aan douchen), en door een toenemende behoefte aan het comfort van douchen. Dit laatste zou kunnen blijken uit een toename van het aantal baden en meerkoppige douches.

Uit een globale analyse is gebleken dat het aantal liters tapwater per persoon (op grond van een zeer beperkt aantal gegevens over een relatief zeer korte zichtperiode¹) niet substantieel is toegenomen. We hebben op grond hiervan besloten deze case niet tot in detail uit te werken. Het gebrek aan gegevens over een langere zichtperiode heeft in deze beslissing een rol gespeeld. De resultaten van de globale analyse worden in dit hoofdstuk beschreven.

1.2 Gasverbruik warm tapwater

In 1997 werd *per huishouden* gemiddeld circa 380 m³ gas per jaar verbruikt om water te verwarmen. Dit is circa 19% van het huishoudelijk gasverbruik. Voor onze analyse is het gasverbruik *per persoon* van belang. In de periode 1988-1997 is het gasverbruik ten behoeve van warm tapwater gemiddeld met 0,6% per jaar toegenomen.

De ontwikkeling van het gasverbruik (per persoon) van verschillende warmwater apparatuur is weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Ontwikkeling van het gasverbruik per toestel aan de functie warm tapwater, over de periode 1988-1997. Bron: BAK.

Type apparaat	Ontwikkeling van het gasverbruik over de periode 1988-1997 (% per jaar)
Keukengeiser	-4,6
Badgeiser	-3,2
Gasboiler	-6,8
Combi-vat ²	+9,7
Combi-tap ³	+5,2
<i>Totaal</i>	<i>+0,6</i>

¹ Met betrekking tot het functiegebruik is een onderzoek van VEWIN de enige bron. Deze beschouwt de periode 1993-1998. Er zijn geen gegevens beschikbaar over de periode voor 1993.

² Een combi-vat is een gesloten HR-ketel met een boiler.

³ Een combi-tap is een gesloten HR-ketel met een geiser.

1.3 Functiegebruik warm tapwater

In het hierna volgende beperken we ons tot het tapwater voor douchen. Dit is circa 60% van het totale warm tapwaterverbruik⁴.

We definiëren het functiegebruik als volgt:
het aantal liters warm tapwater, per persoon per jaar.

De temperatuur van het water laten we buiten beschouwing. De reden is dat het warm tapwater voor douchen geen grote temperatuurverschillen heeft.

Het functiegebruik hangt af van de volgende factoren:

- douchefrequentie;
- gemiddelde doucheduur;
- aantal liters water per minuut douchen;
- penetratie van warm water toestellen in de Nederlandse huishoudens.

Uit de penetratiegraad en de douchefrequentie wordt het gemiddeld aantal douchebeurten per toestel berekend. Vervolgens wordt met behulp van de gemiddelde doucheduur en het aantal liters water per minuut douchen berekend hoeveel liter water per persoon per jaar voor douchen wordt gebruikt.

In Tabel 2 staat een overzicht van de factoren die het functiegebruik bepalen.

Tabel 2 Functiegebruik warm tapwater voor douchen (liters water p.p.p.j.) over de periode 1987-1998

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling van douchen (% p.j.)				
	Functiegebruik (p.p.)	Penetratie	Douchefrequentie	Doucheduur	Liters per minuut/per bad
<i>Totaal</i>	-0,6		0	-1,4	0
Keukengeiser	-7,0	-5,5			
Badgeiser	-3,0	-1,6			
Gasboiler	-9,9	-6,5			
Combi-vat	+10,8	+12,5			
Combi-tap	+8,1	+9,8			

Gemiddeld is het functiegebruik van douchen circa -0,6% per jaar afgenomen in de periode 1987-1998. Het functiegebruik van de keuken- en badgeiser, alsmede van de gasboiler, is afgenomen. Dat van de combiketels is toegenomen. De reden is de substitutie van de eerste typen warmwaterapparatuur door de tweede.

In absolute zin wordt er in 1998 per persoon ruim 13.000 liter warm water gebruik voor douchen.

Hieronder worden de vier factoren die het functiegebruik bepalen, besproken.

⁴ Warm tapwater wordt gebruikt voor bad, douche, wastafel, handwas, handafwas, voedselbereiding en overig.



Penetratie van tapwaterapparatuur

De meest voorkomende apparaten voor het verkrijgen van warm douche-water zijn: de keukengeiser, de badgeiser, de gasboiler, en combi-ketels met een boiler of geiser (combi-vat en combi-tap respectievelijk).

In de zichtperiode 1987-1998 zijn de keukengeiser, gasboiler en (in mindere mate) de badgeiser gedeeltelijk vervangen door combiketels: de penetratie van de eerste neemt af, die van de tweede toe⁵.

Douchefrequentie

Per persoon wordt er circa 5 keer per week gedoucht⁶. Er zijn cijfers beschikbaar voor 1995 en 1998; de frequentie is in deze periode nagenoeg onveranderd gebleven.

Doucheduur

De gemiddelde doucheduur is iets afgenomen volgens cijfers van VEWIN (1999): in 1992 stond men gemiddeld ruim 8 minuten onder de douche, in 1998 was dit bijna 7,5 minuut, een daling van ongeveer 1,4% per jaar. We veronderstellen dat deze daling representatief is voor de gehele zichtperiode.

Liters water per minuut douchen

Het aantal liters water dat per minuut douchen gebruikt wordt, verschilt per warmwatertoestel. De keukengeiser gebruikt het minst, ruim 6 liter per minuut. De badgeiser en gasboiler het meest, namelijk ongeveer 8,5 liter per minuut. De combiketels gebruiken circa 8 liter per minuut⁷. Er zijn geen gegevens gevonden over het verbruik per toestel eerder in de zichtperiode. We veronderstellen dat dit constant is gebleven.

1.4 Kostprijs van warm tapwater

In deze paragraaf gaan we in op de kostprijs van warm tapwater.

De reële kostprijs per functie-eenheid wordt uitgedrukt per liter warm water (in guldens van 1997). Deze is opgebouwd uit twee elementen:

- vaste kosten: de kosten voor de aanschaf van de warm waterapparatuur, toegerekend aan een liter warm water;
- variabele kosten: de energiekosten bij het gebruik van de apparatuur.

De vaste kosten zijn als volgt berekend:

- aan de hand van gegevens uit Consumentengidsen en VWO-rapporten is het verloop van de nominale aanschaf-, installatie- en onderhoudskosten van warm water apparatuur vastgesteld;
- de nominale kosten zijn met behulp van de CPI gecorrigeerd voor inflatie (guldens van 1997);
- de reële prijzen zijn omgerekend naar de gemiddelde vaste kosten per apparaat per jaar, waarbij uitgegaan is van een levensduur van 15 jaar en een afschrijving van 4% per jaar⁸;

⁵ BAK, betreffende jaren.

⁶ VEWIN, 1999.

⁷ Alle cijfers betreffen 1998. Bron: VEWIN, 1999.

⁸ De levensduur van 15 jaar is de economische levensduur zoals die wordt gehanteerd in de VWO-rapporten (1988 en 1990). Onder levensduur wordt verstaan de tijd dat een apparaat gebruikt wordt in een huishouden. Omdat er vanuit wordt gegaan dat het apparaat daarna niet meer in functie is, wordt verondersteld dat de apparatuur na deze periode geen restwaarde meer heeft.

- met behulp van het aantal liters tapwater per apparaat per jaar zijn de gemiddelde kosten per liter warm water per jaar bepaald.

De variabele kosten zijn de energie- en waterkosten bij het gebruik van het apparaat. Deze zijn op de volgende wijze berekend:

- het gasverbruik per liter water per type apparaat is als basis genomen⁹;
- met behulp van de reële gasprijs voor kleinverbruikers zijn voor de betreffende jaren de reële gaskosten per liter berekend;
- hier is de reële gemiddelde prijs van een liter water bij opgeteld¹⁰.

In Tabel 3 staat aangegeven hoe deze kosten zich in de zichtperiode van het onderzoek hebben ontwikkeld.

Tabel 3 Ontwikkeling van de reële vaste en variabele kostprijs per liter warm water in de periode 1988-1997

Type apparatuur	Totale reële kostprijs	Reële vaste kostprijs	Reële variabele kostprijs	Reële kostprijs per liter warm tapwater in 1997 (guldens van 1997)	Aandeel van de vaste kosten in de kostprijs
	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per liter warm water in de periode 1987-1997 (% per jaar)				
<i>Totaal</i>	-0,6	-1,5	0,4	0,02	<i>Circa 50%</i>
Keukengeiser	1,1	1,7	0,4		
Badgeiser	2,3	3,6	0,4		
Gasboiler	0,4	0,4	0,4		
Combi-vat	-0,5	-1,2	0,3		
Combi-tap	-3,1	-7,7	0,3		

De totale reële kostprijs per liter warm tapwater is in de periode 1987-1997 gemiddeld met -0,6% per jaar gedaald. Hierbij is de ontwikkeling per type apparaat gewogen naar de totale functiekosten per persoon in 1997.

Er is een duidelijk verschil tussen de apparaten waarvan de penetratie afneemt en die waarvan de penetratie toeneemt: de kostprijs van de eerste neemt toe, die van de tweede neemt af. Dit is een gevolg van de daling van de aanschafkosten van de combiketels, en een prijsstijging van de overige apparaten.

In 1997 bedroeg de kostprijs gemiddeld *f* 0,02 per liter warm water (guldens van 1997).

1.5 Interpretatie van de resultaten

In deze paragraaf worden conclusies getrokken uit de resultaten die in de voorgaande paragrafen zijn gepresenteerd.

In Tabel 4 zijn de resultaten uit de vorige paragrafen samengevat.

⁹ Bron: TNO, 1992.

¹⁰ De prijs van een liter water is bepaald aan de hand van de VEWIN waterleidingstatistieken van een aantal peiljaren tussen 1987 en 1997.



Tabel 4 Ontwikkeling van functiegebruik, kostprijs en gasverbruik voor de functie warm tapwater voor douchen

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per liter warm tapwater in de periode 1987-1997 (% per jaar)		
	Functiegebruik	Reële kostprijs	Gasverbruik
<i>Eenheid</i>	<i>p.p.p.j.</i>	<i>per liter warm water</i>	<i>p.p.p.j.</i>
<i>Totaal</i>	-0,6	-0,6	+0,6
Keukengeiser	-7,0	1,1	-4,6
Badgeiser	-3,0	2,3	-3,2
Gasboiler	-9,9	0,4	-6,8
Combi-vat	+10,8	-0,5	+9,7
Combi-tap	+8,1	-3,1	+5,2

Uit de tabel blijkt dat er twee apparaten zijn waarbij een stijging van het functiegebruik gepaard gaat met een daling van de gemiddelde kostprijs per liter warm water: de beide combi-ketels. Bij deze apparaten zou een prijseffect werkzaam kunnen zijn. Bij de overige apparaten is het omgekeerde het geval: het functiegebruik is gedaald, de kostprijs gestegen.

Substitutie speelt echter een belangrijke rol: de keukengeiser, badgeiser en gasboiler zijn in het afgelopen decennium in veel huishoudens vervangen door een combiketel. Dit is onder andere een gevolg van de opkomst van de centrale verwarming. Daarnaast geeft de combiketel meer comfort bij het douchen doordat de hoeveelheid water per minuut groter is dan bijvoorbeeld bij de keukengeiser.

Op basis van de beschikbare gegevens is het gebruik van warm tapwater netto afgenomen. Het is dus niet vast te stellen of en in hoeverre de prijsdaling van de combiketels heeft bijgedragen aan de toegenomen penetratie ervan.



2 Elektrische functies in de utiliteit

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk staan de resultaten beschreven van de analyse van het gebruik van elektrische functies in de utiliteit. De bedoeling was dat dit, naast de elektrische functies in huishoudens, een illustratie zou zijn van het gedachtegoed op macro-niveau. De reden voor de keuze voor utiliteit was, dat het elektriciteitsgebruik stijgend is, en er weinig zicht is op de precieze oorzaken ervan.

Tijdens het onderzoek bleek het gebrek aan consistente data een belangrijk knelpunt te zijn voor de analyse. Dit was het geval voor de huishoudens, en dit is in nog belangrijkere mate het geval voor de utiliteit. Ten eerste is de utiliteit een sector die vele diverse subsectoren omvat, van kantoren tot ziekenhuizen en bejaardentehuizen. In de onderzoeken die beschikbaar zijn wordt telkens naar een ander gedeelte van de utiliteit gekeken; de resultaten kunnen dus moeilijk met elkaar worden vergeleken. Een extra knelpunt in deze is, dat de SBI-codes in 1993 zijn veranderd waardoor een vergelijking van een cluster van sectoren voor en na dit jaar bemoeilijkt wordt.

Ten tweede zijn weinig tijdreeksen beschikbaar over een substantiële periode.

Ten derde zijn er weinig gegevens beschikbaar over de factoren die het elektriciteitsgebruik bepalen. Needis (ECN) is een databestand waarin bijvoorbeeld het energiegebruik en economische kentallen van sectoren in de utiliteit worden gemonitord. Hierin zijn echter geen data beschikbaar over de achterliggende factoren, bijvoorbeeld de ontwikkeling van het aantal computers over een aantal jaren, of de ontwikkeling van de gebruikstijd van diverse elektrische apparaten. Door het gebrek aan consistente tijdreeksen met relevante gegevens, is het erg lastig om een analyse uit te voeren zoals dat voor de huishoudens is gedaan.

Er is gekozen om een globale analyse uit te voeren voor een zeer beperkt deel van de utiliteit: de kantoorhoudende dienstverlening. We beperken ons tot de functie automatisering in de subsector zakelijke dienstverlening¹¹. We onderzoeken de vraag of een kostprijdsdaling van het gebruik van computers ertoe bijgedragen kan hebben dat men meer gebruik maakt van deze apparatuur. Deze analyse is niet bedoeld om representatief te zijn voor de utiliteit. Het dient ter illustratie om:

- te verhelderen dat een analyse op het niveau van energiefuncties zinvol zou kunnen zijn om de redenen voor het stijgend elektriciteitsverbruik te verklaren;
- inzichtelijk te maken welke soort gegevens nodig zijn voor een dergelijke analyse.

De sector zakelijke dienstverlening is een onderdeel van de kantoorhoudende dienstverlening die naast de zakelijke dienstverlening de volgende sectoren omvat: financiële instellingen en verwante activiteiten, verzekeringswensen en pensioenfondsen, verhuur van en handel in onroerend goed, verhuur

¹¹ Deze sector heeft SBI-code 84 volgens SBI'74 (met titel 'overige zakelijke dienstverlening'), en SBI-code 74 volgens SBI'93 (met titel 'zakelijke dienstverlening').

van transportmiddelen, machines en werktuigen, computerservice- en informatietechnologiebureaus, en speur- en ontwikkelingswerk.

2.2 Elektriciteitsverbruik utiliteit

In 1994 werd ruim 2600 miljoen kWh elektriciteit gebruikt door de kantoorhoudende dienstverlening. Circa tweederde is toe te schrijven aan de zakelijke dienstverlening¹².

Voor onze analyse is de ontwikkeling van het elektriciteitsverbruik per arbeidsjaar van belang. In de sector zakelijke dienstverlening is deze toegenomen van circa 1875 kWh/arbeidsjaar in 1987 tot circa 3000 kWh/arbeidsjaar in 1994¹³. Dit is een toename van 6% per jaar.

Het elektriciteitsverbruik wordt in de gehele sector *kantoorhoudende* dienstverlening voor circa 20% gebruikt voor automatisering. Dit is zowel in kleine als in grote kantoorgebouwen het geval¹⁴. We nemen aan dat dit representatief is voor de sector *zakelijke* dienstverlening.

We kunnen niet nagaan in welke mate de stijging van het elektriciteitsverbruik per arbeidsjaar in de zakelijke dienstverlening is toe te schrijven aan ontwikkelingen in de automatisering. We gaan er (bij gebrek aan gegevens) vanuit dat het elektriciteitsverbruik dat aan automatisering is besteed, (evenredig met het gemiddelde) met 6% per jaar is toegenomen.

2.3 Functiegebruik automatisering

We definiëren het functiegebruik voor de functie automatisering in de sector zakelijke dienstverlening als volgt:

het aantal uren computergebruik, per arbeidsjaar.

De beeldschermen zijn hierbij inbegrepen. We laten overige apparaten die bijdragen aan de automatisering, zoals printers en kopieerapparatuur, buiten beschouwing. Bij de bespreking van de kostprijs gaan we kort in op die van de printers.

Het functiegebruik hangt af van de volgende factoren:

- penetratie (aantal computers in de sector);
- aantal arbeidsjaren;
- bedrijfstijd per computer;
- vermogen per computer.

Over de ontwikkeling van de bedrijfstijd per computer en het vermogen per computer zijn geen gegevens beschikbaar. We veronderstellen dat deze constant zijn gebleven over de zichtperiode.

Het is zeer waarschijnlijk dat het vermogen van de computers en beeldschermen is toegenomen: de apparatuur is immers geavanceerder geworden met meer mogelijkheden en kwaliteit. Voorbeelden zijn het vermogen van de harde schijf, Cd-rom en internet- en e-mailmogelijkheden. Dit gaat (onder andere) gepaard met een toename van het vermogen. Per computer is het functiegebruik als gevolg hiervan toegenomen (meer kwaliteit en toe-

¹² Van den Ham, 1996 (Needis).

¹³ Van den Ham, 1996 (Needis).

¹⁴ Van den Ham, 1996 (Needis). Het overige elektriciteitsverbruik wordt voor circa 40% gebruikt voor verlichting, voor circa 25% aan klimatisering van de kantoorruimte, en voor circa 15% aan overige functies.



passingsmogelijkheden). Wegens gebrek aan kwantitatieve gegevens laten we dit echter buiten beschouwing. De hieronder geschetste ontwikkeling kan dus gezien worden als een ondergrens.

Uit het aantal computers in de sector en het aantal arbeidsjaren is het aantal computers per arbeidsjaar berekend.

In Tabel 5 staat een overzicht van de factoren die het functiegebruik bepalen.

Tabel 5 Functiegebruik automatisering in de sector zakelijke dienstverlening, over de periode 1987-1997

Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling het computergebruik in de zakelijke dienstverlening (% p.j.)					
	Functiegebruik (p.p.)	Penetratie	Arbeidsjaren	Bedrijfstijd per computer	Vermogen per computer
<i>Computergebruik</i>	+12	+16	+4	<i>Geen gegevens</i>	<i>Geen gegevens</i>

Gemiddeld is het functiegebruik van de automatisering circa 12% per jaar toegenomen in de periode 1987-1997. Het aantal computers in de sector is globaal met 16% per jaar toegenomen. In 1987 stond het gebruik van Pc's nog in de kinderschoenen; volgens het CBS waren er circa 30.000 computers in de sector in gebruik¹⁵. In het decennium dat daarop volgt, is het computergebruik enorm toegenomen: in 1997 zijn meer dan 165.000 computers aanwezig¹⁶.

De werkgelegenheid in de zakelijke dienstverlening is toegenomen in de zichtperiode: het aantal arbeidsjaren is gestegen van circa 550.000 tot circa 770.000. Wanneer we het functiegebruik corrigeren voor deze ontwikkeling, resulteert een toename van het functiegebruik per arbeidsjaar met 12% per jaar.

2.4 Kostprijs van de functie automatisering

In deze paragraaf gaan we in op de kostprijs van de functie automatisering. De reële kostprijs per functie-eenheid wordt uitgedrukt als de reële kosten per apparaat per jaar. Conform de overige analyses van energiefuncties zou de prijs uitgedrukt moeten worden per uur computergebruik met een computer van een bepaald vermogen en kwaliteit. Bij gebrek aan gegevens over de bedrijfstijd en het vermogen per computer laten we deze buiten beschouwing. De prijsontwikkeling is daarmee een minimumschatting: bij een toename van het vermogen of de bedrijfstijd daalt de prijs per functie-eenheid sterker als in het hierna volgende is berekend.

¹⁵ Dit zijn alle computers, zonder onderscheid naar vermogen, type (stand alone, gekoppeld of terminal) of prijsklasse. Bron: CBS.

¹⁶ Dit betreft stand alone pc's, gekoppelde pc's en terminals. Bron: CBS.

De reële kostprijs (in guldens van 1997) is opgebouwd uit twee elementen:

- vaste kosten: de kosten voor de aanschaf van computers en beeldschermen, per apparaat per jaar;
- variabele kosten: de energiekosten bij het gebruik van de apparatuur.

De vaste kosten zijn als volgt berekend:

- aan de hand van gegevens uit Consumentengidsen is het verloop van de nominale aanschafkosten van apparatuur vastgesteld;
- de nominale kosten zijn met behulp van de CPI gecorrigeerd voor inflatie (guldens van 1997);
- de reële prijzen zijn omgerekend naar de gemiddelde vaste kosten per apparaat per jaar, waarbij uitgegaan is van een levensduur van 3 jaar voor computers en 4 jaar voor beeldschermen, en een afschrijving van 4% per jaar¹⁷;

De variabele kosten zijn de energiekosten bij het gebruik van het apparaat. Deze zijn op de volgende wijze berekend:

- het elektriciteitsverbruik per computer;
- met behulp van de reële elektriciteitsprijs voor kleinverbruikers zijn voor de betreffende jaren de reële elektriciteitskosten berekend;

In Tabel 6 staat aangegeven hoe deze kosten zich in de zichtperiode van het onderzoek hebben ontwikkeld.

Tabel 6 Ontwikkeling van de reële vaste en variabele kostprijs per apparaat

Type apparatuur	Zichtperiode	Totale reële kostprijs	Reële vaste kostprijs	Reële <i>variabele</i> kostprijs	Reële kostprijs per apparaat (guldens van 1997)
		Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per apparaat in de periode 1987-1997 (% per jaar)			
Computers	1987-1998	-4	-4	0	1800,-
Beeldschermen ¹⁸	1993-1998	-4	-4	0	400,-
Inkjetprinters	1991-1999	-16	-16	0	200,-
laserprinters	1993-1999	-4	-4	0	400,-

De vaste kostprijs van apparatuur is bepaald aan de hand van consumentengidsen. Hoewel dit niet de prijzen zijn voor de sector, gaan we ervan uit dat deze prijzen een goede benadering geven, ook voor de sector zakelijke dienstverlening.

De totale reële kostprijs voor computers is in de periode 1987-1998 gemiddeld met -4% per jaar gedaald. Dit moet gezien worden als ruwe schatting, omdat de prijzen alleen per pakket bekend zijn: al dan niet inclusief muis, Cd-rom geluids- en grafische kaart, e.d. Het pakket verschilt per peiljaar. Uit de gegevens blijkt dat de prijs van het computerpakket sinds 1996 ongeveer constant blijft in nominale termen, maar dat men voor de betreffende prijs steeds meer krijgt. Uit de gegevens is niet te achterhalen welke toebehoren

¹⁷ De levensduur is de economische levensduur zoals die wordt gehanteerd door EIM. Er wordt verondersteld dat de apparatuur na deze periode geen restwaarde meer heeft.

¹⁸ Dit is de gemiddelde prijs van beeldschermen, waarbij geen onderscheid is gemaakt naar kwaliteit en grootte.



in de prijs van 1987 waren inbegrepen. Tussen 1987 en 1998 is de prijs *gemiddeld* met -4% per jaar gedaald.

Beeldschermen zijn eveneens *gemiddeld* met -4% per jaar in prijs gedaald in de periode 1993-1998. Wanneer we 17" beeldschermen vergelijken, is de reële prijs drastisch gedaald: circa -14% per jaar. Dit is echter tevens een gevolg van het feit dat dit type in 1993 nieuw was, en in 1998 alweer achterhaald door de 19".

Ter illustratie is in deze paragraaf tevens de prijsontwikkeling van printers toegevoegd. Ook deze zijn in prijs gedaald, die van inkjetprinters zelfs drastisch. In de sector utiliteit zal in de zichtperiode waarschijnlijk tevens een overschakeling hebben plaatsgevonden van inkjet naar laserprinter. Wanneer we veronderstellen dat in 1993 alle printers inkjet zijn, en in 1998 alle laserprinters, is de reële prijs met 1% toegenomen. Hiervoor krijgt men echter weer meer kwaliteit (en dus in feite meer functiegebruik).

Bij gebrek aan gegevens is verondersteld dat het energieverbruik van de apparaten over de zichtperiode constant is gebleven. De energiekosten hebben dan geen invloed op de kostprijsontwikkeling.

Uit het bovenstaande concluderen we dat de computer- en aanverwante apparatuur in het afgelopen decennium gemiddeld in prijs is gedaald. Hierbij plaatsen we de kanttekening dat hierbij de toename van de kwaliteit buiten beschouwing is gelaten. In feite heeft men bij de afnemende prijs tevens meer kwaliteit (en dus meer functiegebruik) gekregen. In feite is de gepresenteerde ontwikkeling een minimumschatting.

2.5 Interpretatie van de resultaten

In deze paragraaf worden conclusies getrokken uit de resultaten die in de voorgaande paragrafen zijn gepresenteerd.

In Tabel 7 zijn de resultaten uit de vorige paragrafen samengevat.

Tabel 7 Ontwikkeling van functiegebruik, de reële kostprijs en het elektriciteitsverbruik voor de functie automatisering in de zakelijke dienstverlening

	Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling per apparaat over de periode 1987-1997 ¹⁹		
	Functiegebruik	Reële kostprijs	elektriciteitsverbruik
<i>Eenheid</i>	<i>p.p.p.j.</i>	<i>per apparaat</i>	<i>p.p.p.j.</i>
Totaal automatisering			+6
Computers	+12	-4	Geen gegevens
Beeldschermen	+12	-4	Geen gegevens
Inkjetprinters	Geen gegevens	-16	Geen gegevens
Laserprinters	Geen gegevens	-4	Geen gegevens

¹⁹ Daar waar de gegevens een andere periode betreffen, is de ontwikkeling als representatief verondersteld voor de periode 1987-1997.

Uit de tabel blijkt dat een toenemend computergebruik in de zakelijke dienstverlening gepaard is gegaan met een kostprijzdaling van computer- en aanverwante apparatuur. In de verklaring van het toegenomen elektriciteitsverbruik in deze sector lijkt het waarschijnlijk dat een prijseffect heeft meegespeeld (ondanks de inconsistentie van de gegevens waarop de analyse is gebaseerd). Evenals bij de huishoudens treedt een belangrijk deel van dit effect op bij de aanschaf van de apparatuur: de kostprijzdaling is een gevolg van de daling van de vaste kosten, de toename van het functiegebruik is in ieder geval gedeeltelijk een gevolg van de toegenomen *penetratie*.

De kwantitatieve uitwerking van deze case dient uitsluitend ter illustratie. De resultaten moeten gezien worden als indicatie. Voor een nadere onderbouwing van de rol die het prijseffect heeft gespeeld, is een analyse op basis van meer en consistentere gegevens nodig.

2.6 Benodigde gegevens voor een analyse vanuit het functiegebruik

Over de utiliteit zijn slechts beperkt consistente tijdreeksen beschikbaar. In deze paragraaf wordt aangegeven welke soort gegevens nodig zijn voor een analyse vanuit het oogpunt van het functiegebruik. Dit met het doel om suggesties te geven om de monitoring van gegevens in en over de utiliteit te verbeteren, zodat een analyse van de oorzaken van het toenemend elektriciteitsverbruik in deze sector mogelijk te verbeteren is.

Hieronder gaan we achtereenvolgens in op: de sectorgrenzen, het functiegebruik, de kostprijs en de efficiency.

Sectorgrenzen

Een analyse van de oorzaken van het stijgend elektriciteitsverbruik is alleen nuttig wanneer er binnen de sector utiliteit clusters te onderkennen zijn die qua energie- en functiekenmerken relatief homogeen zijn. Wanneer dit niet het geval is, zullen er in de ontwikkeling van het functiegebruik en de kostprijs verschillende ontwikkelingen verborgen blijven. Het computergebruik in kantoren en in bijvoorbeeld ziekenhuizen of onderzoeksinstellingen dient andere doeleinden. De kostprijs van de computers zal bijvoorbeeld waarschijnlijk sterk verschillen, waardoor de gemiddelde kostprijs veel minder zeggingskracht heeft dan bij een splitsing van deze typen computers.

Een ander voorbeeld is het verschil in ruimtegebruik per werkzaam persoon. Deze kan een factor twee verschillen binnen de sector kantoorhoudende dienstverlening. Dit betekent dat het functiegebruik *per persoon* aan bijvoorbeeld verlichting of verwarming door deze factor sterk beïnvloedt wordt.

Afhankelijk van de te onderzoeken energiefuncties is het dus relevant te zoeken naar homogene sectoren qua functiegebruik. Enkele suggesties voor relevante criteria zijn:



Tabel 8 Relevante criteria om de sectorgrenzen te bepalen

Energiefunctie	Relevante criteria
Klimatisering	Kantoor, verzorging of anderszins Ruimtegebruik per werknemer Grote en kleine gebouwen
Verlichting	Kantoor, verzorging of anderszins Ruimtegebruik per werknemer Specifieke activiteiten (tekenkamers, laboratoria)
Automatisering	Homogeniteit in activiteiten Bedrijven met veel en weinig werknemers

Functiegebruik

De gegevens die voor de analyse van het functiegebruik relevant zijn, zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9 Overzicht van gegevens die relevant zijn voor een analyse van het functiegebruik

Energiefunctie	Relevante gegevens
Algemeen	- penetratie van apparaten - bedrijfstijd per apparaat - vermogen per apparaat - aantal arbeidsjaren
Klimatisering (aanvullend)	- temperatuur in de werkruimte - bedrijfstijd van de klimatisering: dag-, week- en seizoenschema
Verlichting (aanvullend)	- bedrijfstijd van verlichting: dag- en weekschema - type lampen (lumen/Watt verhouding)
Automatisering (aanvullend)	- kwaliteitsaspecten

Als basis voor een analyse zijn consistente gegevens over een aantal (peil)jaren nodig over: de penetratie van apparatuur, de bedrijfstijd en het vermogen per apparaat en het aantal arbeidsjaren. Per energiefunctie zijn enkele aanvullende gegevens nuttig, zoals de temperatuur van de klimatisering, type lampen en de tijd dat de betreffende functie in gebruik is.

Kostprijs

De gegevens die voor de analyse van de kostprijs relevant zijn, zijn weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10 Overzicht van gegevens die relevant zijn voor een analyse van de kostprijs

Energiefunctie	Relevante gegevens
Algemeen	- nominale aanschafkosten - CPI voor de betreffende (cluster van) apparaten - Gemiddelde economische levensduur - Energiegebruik per functie-eenheid (per uur bijvoorbeeld) - Kosten per eenheid energie

Als basis voor een analyse zijn consistente gegevens over een aantal (peil)jaren nodig over: de nominale aanschafkosten, de consumenten prijs-

index voor de betreffende apparaten, de levensduur, het energiegebruik en de kosten van een eenheid energie in de betreffende sector.

Efficiency

De gegevens die voor de analyse van de efficiency relevant zijn, zijn weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11 Overzicht van gegevens die relevant zijn voor een analyse van de efficiency

Energiefunctie	Relevante gegevens
Algemeen	<ul style="list-style-type: none">- Energiegebruik per apparaat per 24 uur- Consistentie en explicitering van: energiegebruik van nieuwe apparaten of van het gemiddelde aanwezige park- Consistentie en explicitering in de wijze waarop het energiegebruik is bepaald (berekenningswijze, meetcondities)

Voor de bepaling van de efficiency zijn gegevens over een aantal (peil) jaren nodig over het energiegebruik per 24 uur. Voor de vergelijking van verschillende onderzoeken is het nodig dat er over een periode van circa 5 tot 10-jaar consistentie is in de wijze waarop de efficiency is bepaald. Het duidelijk expliciteren van de berekeningswijze of de meetcondities kan tevens behulpzaam zijn bij het vergelijken van verschillende onderzoeken.

Uit de case elektrische functies in huishoudens is gebleken dat bij de berekening van het elektriciteitsgebruik per 24 uur soms aannamen zijn gedaan die niet sporen met de resultaten van andere onderzoeken. Een voorbeeld was de gebruiksfrequentie van wasdrogers en vaatwassers. Het is aan te bevelen zo veel als mogelijk te streven naar consistentie, en naar explicitering van de aannamen.



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.nl

Bijlage E

Literatuur



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. Bleijenbergh
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
Landbouwniversiteit 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

