

**AFSTEMMEN VAN VRAAG EN AANBOD DOOR
MIDDEL VAN GEDRAGSMATIG VERSCHUIVEN**

**Een onderzoek naar de mogelijkheden voor afstemming van het
elektriciteitsvraagpatroon van een huishouden op het
elektriciteitsaanbod van een microwarmtekrachtinstallatie**

A. Kets
P.G.M. Boonekamp
J. Jelsma

Verantwoording

Dit project is uitgevoerd als een onderdeel van het ENGINE project Microwarmtekracht, ECN projectnummer 7.7363.

Abstract

For the application of small scale renewable or energy saving techniques within a household the relation between the supply and demand of electricity is of importance. By adjusting the demand for electricity to the electricity supply by the electricity generating technology the economical and in some cases the energy saving potential of the technology can be improved. In this study possibilities for behavioural and technology driven shifts of electricity demand patterns of a household are given. In this study the presence of a micro combined heat and power generator in the household is assumed.

The possibilities to shift the electricity demand of equipment within a household are dependent on the shape of the electricity demand pattern of the function, provided by the equipment. The functions can be divided into three categories:

- Functions that are fulfilled throughout the day (e.g. freezer, refrigerator).
- Functions that demand electricity for a limited period and have to be performed before a certain point of time (e.g. washing machine, dishwasher).
- Functions that have to be performed on a certain point of time or during a certain time period (e.g. television, lights).

The electricity demand pattern of equipment that are used to fulfil functions of the first category can in general be altered by automatically shifting the moment on which the motor of the apparatus switches on or off. The electricity demand pattern of equipment that is used to fulfil functions of the second category can be shifted by using the time period between the point of time the user normally performs the function and the point of time the function has to be fulfilled. The electricity demand pattern of functions of the third category can not be shifted.

The possibilities for behavioural and technology driven shifts of the electricity demand of freezers and dishwashers are described more elaborately. From this description two lessons can be learned:

- Shifts in the electricity demand pattern are more feasible if the initial costs are low, the shift is automated and no yet to be developed equipment has to be used to implement the shift.
- The size of the possible positive effect of the shift on for instance a yearly basis, depends heavily on the *scripts* of the equipment that is used to bring about the shift. A *script* is a structure of an apparatus, which is used to steer the behaviour of the user. The shift is the most effective if the scripts strongly stimulate the user to implement the shift but also leave room for the user not to shift the pattern in the case that the shift is inconvenient for the user.

The effect of one of the possible shifts of the electricity demand pattern of a dishwasher has been determined in a case study. From the calculations done in the case study it can be seen that a shift in the electricity demand pattern can have a large effect on the relation between the electricity supply and demand pattern of a household during the day. By means of the proposed shift the ratio between the electricity supply and demand draws nearer to the ideal value of one. When on a point of time during the day the ratio between the electricity supply and electricity demand equals one no electricity has to be exchanged with the grid. From the case study it also can be concluded that the assumptions made during the calculation can have a large influence on the effect of the shift.

INHOUD

1.	INLEIDING	7
2.	ACHTERGROND: DE MICROWARMTEKRACHTINSTALLATIE	9
3.	CONCEPTUEEL KADER	10
4.	Methode bepalen mogelijkheden verschuiving	11
4.1	Overzicht	11
4.2	Selectie van apparatuur en onderverdeling apparatuur in categorieën	11
4.3	Methode selectie apparatuur waarvan de verschuivingsopties uitgebreid beschreven worden	12
4.4	Verdere uitwerking geselecteerde verschuivingsopties	12
5.	RESULTATEN	13
5.1	Resultaat selectie van apparatuur en onderverdeling van apparatuur in categorieën	13
5.1.1	Apparaten met een hoog elektriciteitsgebruik	13
5.1.2	Onderverdeling apparatuur in categorieën	13
5.2	Selectie apparatuur waarvoor de verschuivingsopties voor beschreven zullen worden	15
5.3	Uitwerking verschuivingen voor twee apparaten: vaatwasser en diepvriezer	16
5.3.1	Inleiding	16
5.3.2	Vaatwasser	16
5.3.3	Diepvriezer	23
6.	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	25
7.	CASESTUDIE MICROWARMTEKRACHT	27
7.1	Inleiding	27
7.2	Omschrijving installatie	28
7.3	Aanpak	28
7.4	Modellering	29
7.4.1	Het elektriciteitsvraag model	29
7.4.2	Het warmtevraag model	29
7.4.3	Het tapwatermodel	29
7.5	De benadering van de verschuiving in het model	30
7.5.1	Uitgangspositie verschuiving	30
7.5.2	Eindpunt verschuiving	30
7.6	Resultaten	31
7.7	Evaluatie gemaakte keuzes	34
7.7.1	Effect van de keuze voor een brandstofcellen aangedreven microwarmtekrachtinstallatie	34
7.8	Conclusies en aanbevelingen	35
	APPENDIX A: OPBOUW ELEKTRICITEITSVRAAGMODEL	39
	APPENDIX B: OPBOUW WARMTEVRAAGMODEL	41
	APPENDIX C: OPBOUW TAPWATERMODEL	42
	APPENDIX D: BEPALING TIJDSTIP OPWARMEN WARMTEBUFFER	43

SAMENVATTING

Voor de toepassing van verschillende duurzame en energiebesparende elektriciteitsopwekkingstechnieken op huishoudniveau is de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en elektriciteitsvraag van het huishouden van belang.

Door de vraag naar elektriciteit af te stemmen op het elektriciteitsaanbod kan het gebruik van het elektriciteitsnet als buffer gedeeltelijk voorkomen worden. Dit voorkomen van buffering is mogelijk financieel voordelig voor de gebruiker van de installatie. Het afstemmen van de elektriciteitsvraag op het elektriciteitsaanbod is mogelijk door de elektriciteitsvraag van apparatuur over de dag te verschuiven.

In dit rapport is voor verschillende apparatuur bepaald wat de mogelijkheden zijn voor gedragsmatige verschuivingen van het elektriciteitsvraagpatroon van een huishouden dat gebruik maakt van microwarmtekrachtinstallatie. De elektriciteitsvraagpatroon van een apparaat dat bijvoorbeeld de functie wassen vervult is verschillend van het patroon van een apparaat dat bijvoorbeeld de functie koelen vervult. De mogelijkheden om het elektriciteitsvraagpatroon van deze apparatuur over de dag te verschuiven verschillen dan ook voor de verschillende functies. De verschuivingsmogelijkheden voor huishoudelijke apparatuur blijken gerelateerd te kunnen worden aan de vorm van de elektriciteitsvraag van de uit te voeren functie.

De functies die door apparatuur in een huishouden vervuld worden kunnen onderverdeeld worden in drie categorieën:

- Functies die gespreid over de dag uitgevoerd worden (bijv. koelkast, diepvriezer),
- Functies die gedurende een beperkte periode elektriciteit vragen en voor een bepaald tijdstip verricht moeten worden (bijv. vaatwasser, wasmachine),
- Functies die op een bepaald tijdstip/tijdens een bepaalde periode verricht moeten worden (bijv. TV, lampen).

Het elektriciteitsvraagpatroon van apparatuur die gebruikt wordt voor de vervulling van functies die gespreid over de dag uitgevoerd worden, kunnen in het algemeen verschoven worden door het moment van het aan- en uitschakelen van de motor van het apparaat automatisch te verschuiven. Het elektriciteitsvraagpatroon van apparatuur gebruikt voor de vervulling van functies die voor een bepaald tijdstip verricht moeten zijn, kan onder andere verschoven worden door de periode die tussen het normaal vervullen van de functie in het huishouden en het tijdstip waarop de functie uitgevoerd moet zijn (het limiettijdstip) te benutten. Zo kan bijvoorbeeld een vaatwas later op de avond gedraaid worden, als de afwas maar op tijd schoon is. Het elektriciteitsvraagpatroon van apparatuur die gebruikt wordt om de functies uit de derde categorie te vervullen, kan niet verschoven worden.

De verschuivingsmogelijkheden van twee apparaten uit verschillende categorieën, namelijk de diepvriezer en de vaatwasser, zijn nader beschreven en beoordeeld op haalbaarheid. De haalbaarheid van verschuivingen wordt negatief beïnvloedt in de gevallen dat:

- Een (drukbezet) huishouden handmatig de elektriciteitsvraag moet verschuiven,
- Een verschuiving hoge initiële kosten met zich meebrengt,
- Nieuw te ontwerpen apparatuur nodig is om de verschuiving mogelijk te maken (op langere termijn hoeft dit geen belemmering te zijn).

De grootte van het mogelijke positieve effect van de verschuivingoptie is naar verwachting sterk afhankelijk van het *script* van de apparatuur die gebruikt wordt om de verschuiving te bewerkstelligen. Met *script* wordt hier een structuur van bijvoorbeeld een apparaat of omgeving bedoeld die het menselijk handelen aanstuurt, een script is als het ware een bij het ontwerp ontstane ingebede gebruiksaanwijzing. Van een script kan een sterke of minder sterke sturende werking uitgaan. Bij het ontwerp van apparatuur die gebruikt wordt om de verschuiving te bewerkstelligen (bijvoorbeeld het regelsysteem) moet de sterkte van deze sturende werking een aan-

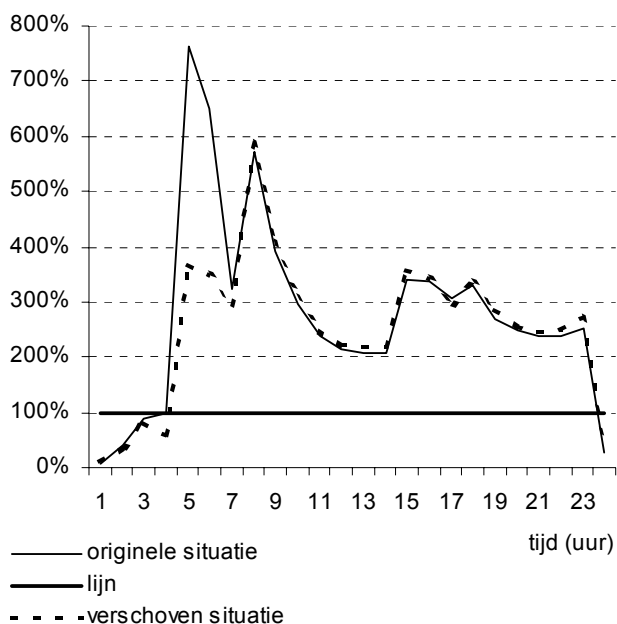
dachtspunt zijn. De keus voor een script dat de gebruiker teveel keuzevrijheid biedt kan ervoor zorgen dat de verschuiving in praktijk weinig toegepast wordt. Het te gebruiken script moet echter ook niet te sterk sturen. De gebruiker moet altijd de mogelijkheid hebben het elektriciteitsvraagpatroon niet te verschuiven, indien de verschuiving de gebruiker op dat moment niet goed uitkomt. In het geval van het voorbeeld van de vaatwasser, moet de gebruiker ook de mogelijkheid hebben de vaatwas direct te draaien.

Het effect van één mogelijke verschuiving, namelijk de verschuiving van de vaatwasser met behulp van een vast limiettijdstip is vervolgens bepaald met behulp van een casestudie.

In deze casestudie is het effect van het verschuiven van de elektriciteitsvraag bepaald voor een huishouden dat in het bezit is van een microwarmtekrachtinstallatie. Een microwarmtekrachtinstallatie produceert warmte en elektriciteit (kracht) in een vaste verhouding. Bij een warmtevraag gestuurde installatie (de uitgangspositie in de casestudie) is de elektriciteitsproductie (het aanbod) van de installatie is dus gelijk aan een constante maal de warmtevraag van het huishouden.

Door het elektriciteitsvraagpatroon zoveel mogelijk af te stemmen op het warmtevraagpatroon van het huishouden komt de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en elektriciteitsvraag dichterbij de streefwaarde van één te liggen.

In het volgende figuur is het effect van deze verschuiving voor maandagen in de zomer weergegeven. In het figuur is de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag in zowel de originele als verschoven situatie aangegeven. Uit het figuur blijkt dat de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en -vraag door de verschuiving op verschillende momenten van de dag beduidend dichterbij de streefwaarde van één (de 'lijn' in het figuur) is komen te liggen. Tussen vier en tien uur 's ochtends vermindert het overschot aan elektriciteitsaanbod in het figuur. Op andere tijdstippen van de dag vermindert het overschot aan elektriciteitsvraag. De vermindering van dit overschot is niet zichtbaar in het figuur. Op de tijdstippen waarvan het gebruik van de vaatwasser weg geschoven wordt, heeft een huishouden namelijk een zodanig hoge elektriciteitsvraag dat een vermindering van deze elektriciteitsvraag door het wegschuiven van de elektriciteitsvraag van de vaatwasser geen of weinig effect heeft op de weergave van de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag in het figuur. Ook is sommige tijden van de dag de warmtevraag van het huishouden gelijk aan nul, waardoor de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag door de verschuiving niet verandert (gelijk blijft aan nul).



Figuur S.1 *Effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser op maandagen in de winter*

Ook voor andere dagen van de week en andere seizoenen blijkt de verschuiving van de elektriciteitsvraag van de vaatwasser een positief effect te hebben. Wel blijken initieel gedane keuzen bij de bepaling (bijvoorbeeld de keus voor een ander type microwarmtekrachtinstallatie) een grote invloed te hebben op het resultaat van de verschuiving.

De aanbeveling bij dit rapport is dan ook de mogelijkheden van de gedragsmatige verschuivingen van het elektriciteitsvraagpatroon nader te onderzoeken. Hierbij zal vooral gefocust moeten worden op manieren om het effect van de verschuiving nader te kwantificeren.

Een aandachtspunt bij deze kwantificering is de beperkte beschikbaarheid van data over de elektriciteitsvraagpatronen van verschillende typen huishoudens. Een andere algemene aanbeveling bij dit onderzoek is dan ook deze elektriciteitsvraagpatronen, liefst in combinatie met sociale kenmerken van het huishouden, nader te onderzoeken.

1. INLEIDING

Huishoudens en andere sectoren in de Nederlandse economie gebruiken onder andere elektriciteit om in hun energiebehoeften te voorzien. Deze elektriciteit moet door energiedistributiebedrijven geleverd worden op het moment dat de energie gevraagd wordt. Elektriciteitsproducenten slagen erin deze energie op het moment van de elektriciteitsvraag te leveren door de variabele inzet van basislast-, middenlast- en pieklast elektriciteitscentrales. Dit vergt echter forse investeringen. Op de tijdstippen dat de elektriciteitsvraag laag is ligt een deel van de centrales stil.

De noodzaak van gelijktijdigheid van elektriciteitsvraag en -aanbod speelt ook een rol bij elektriciteitsopwekkingsystemen voor eigen gebruik als bijvoorbeeld kleine windmolens en zonnepanelen bij particulieren. In deze gevallen wordt de momentaan te veel geproduceerde elektriciteit aan het net teruggeleverd en wordt bij een te lage eigen elektriciteitsproductie elektriciteit aan het net onttrokken. Het net fungeert hier als het ware als een buffer.

De teruglevering van elektriciteit en de latere onttrekking van de elektriciteit aan het net is voor de gebruiker echter vaak niet voordelig. Door de misschien niet toereikende terugleververgoeding, de regulerende energiebelasting (REB) die de gebruiker voor de uit het net betrokken elektriciteit moet betalen en de afschrijving van de installatie is het voor de verbruiker vaak voordeliger zijn opgewekte elektriciteit zoveel mogelijk zelf te gebruiken.

In de toekomst zal dit sterker gaan spelen. Naar verwachting stijgt de regulerende energiebelasting en de energiemarkt liberaliseert waardoor de terugleververgoedingen lager zouden kunnen worden. Het is ook mogelijk dat energiedistributiebedrijven na de liberalisatie de kosten zullen proberen te minimaliseren door de pieken in de elektriciteitsvraag af te zwakken. De energiedistributiebedrijven zouden dit kunnen doen door de prijs van elektriciteit en de terugleververgoeding afhankelijk te maken van het tijdstip van levering.

De sector huishoudens wordt in de toekomst steeds meer een aanbieder van elektriciteit door de te verwachten verdere diffusie van duurzame technieken (wind, zon) en de mogelijke introductie van nieuwe kleinschalige energieopwekkingstechnologieën zoals microwarmtekrachtinstallaties. Een microwarmtekrachtinstallatie produceert warmte en elektriciteit (kracht) in een vaste verhouding terwijl de vraag naar warmte en elektriciteit bij huishoudens grotendeels onafhankelijk van elkaar verloopt.

De noodzaak van onrendabele buffering van elektriciteit via het net (of anderszins) kan verminderd worden door verschuivingen van het elektriciteitsvraagpatroon van het huishouden. Voor elektriciteitsopwekking door middel van duurzame energie kan door de verschuivingen de teruglevering en levering van elektriciteit beter aangepast worden aan de mogelijk te introduceren prijsstructuur van de elektriciteitsdistributiebedrijven. De toepassing van kleinschalige duurzame energie wordt hierdoor rendabeler voor de gebruiker. Als een huishouden een microwarmtekrachtinstallatie gebruikt, kunnen door middel van verschuivingen de warmte- en elektriciteitsvraagpatronen en het aanbod van de installatie beter op elkaar afgestemd worden. Door deze betere afstemming kan de gebruiker meer van zijn eigen geproduceerde stroom gebruiken en stijgt de economische maar ook de energiebesparende prestatie van de installatie.

In dit rapport worden de mogelijkheden voor gedragsmatige verschuivingen van de elektriciteitsvraag over de dag bij toepassing van een microwarmtekrachtinstallatie behandeld. De vraagstelling van dit rapport is de volgende:

- Welke opties zijn er voor gedragsmatige technisch gemedieerde verschuivingen van elektriciteitsvraagpatronen ten behoeve van de optimalisatie van de warmte- en elektriciteitsbenutting uit een microwarmtekrachtinstallatie?

Bij het beantwoorden van de vraagstelling wordt uitgegaan van het elektriciteitsverbruik van huishoudelijke apparatuur. Voor bepaalde apparatuur zal bepaald worden hoe het gebruik van deze apparatuur *gedragsmatig* over de dag verschoven kan worden en welke soort technologie eventueel noodzakelijk is om deze verschuiving te bewerkstelligen¹. Bij de bepaling van mogelijke verschuivingen wordt de aanwezigheid van een microwarmtekrachtinstallatie verondersteld.

In een casestudie zal vervolgens het effect van één van de voorgestelde verschuivingen op de verhouding tussen de elektriciteitsvraag en het elektriciteitsaanbod (een constante maal de warmteproductie) voor een huishouden dat gebruik maakt van een microwarmtekrachtinstallatie bepaald worden. De resultaten van deze casestudie kunnen bij de unit Schoon Fossiel van het ECN gebruikt worden als input voor de analyses over het functioneren van diverse typen microwarmtekrachtssystemen.

¹ Ook sterk technologie gemedieerde verschuivingen ((bijna) automatische verschuivingen) worden gedragsmatige verschuivingen genoemd worden omdat de gedragaspecten van deze verschuivingen (acceptatie, mogelijkheden voor het niet laten verschuiven van de elektriciteitsvraag etc.) ook bij deze verschuivingen van belang zijn.

2. ACHTERGROND: DE MICROWARMTEKRACHTINSTALLATIE

Een microwarmtekrachtinstallatie kan in de toekomst als vervanging dienen van de HR-ketel bij huishoudens. Een microwarmtekrachtinstallatie produceert niet alleen warmte (zoals de HR-ketel nu) maar ook elektriciteit (kracht). Als de installatie draait wordt de elektriciteit en warmte gelijktijdig en in een vaste verhouding geproduceerd. In welke verhouding dit is, is afhankelijk van het type microwarmtekrachtinstallatie. Een Stirling (gas)motor aangedreven installatie produceert ongeveer acht keer meer warmte dan elektriciteit en een brandstofcel aangedreven installatie produceert ongeveer twee keer zoveel warmte als elektriciteit (op basis van vermogen).

De microwarmtekrachtinstallatie is nog volop in ontwikkeling. Het uiteindelijke ontwerp is nog niet 'af'. Dit biedt aan de ene kant mogelijkheden voor gebruikers- en gedragsonderzoek omdat resultaten nog invloed uit kunnen uitoefenen op het uiteindelijke ontwerp (zoals geprefereerd volgens Jelsma, 1999), anderzijds wordt het onderzoek bemoeilijkt omdat bepaalde aspecten van de installatie nog onbekend zijn.

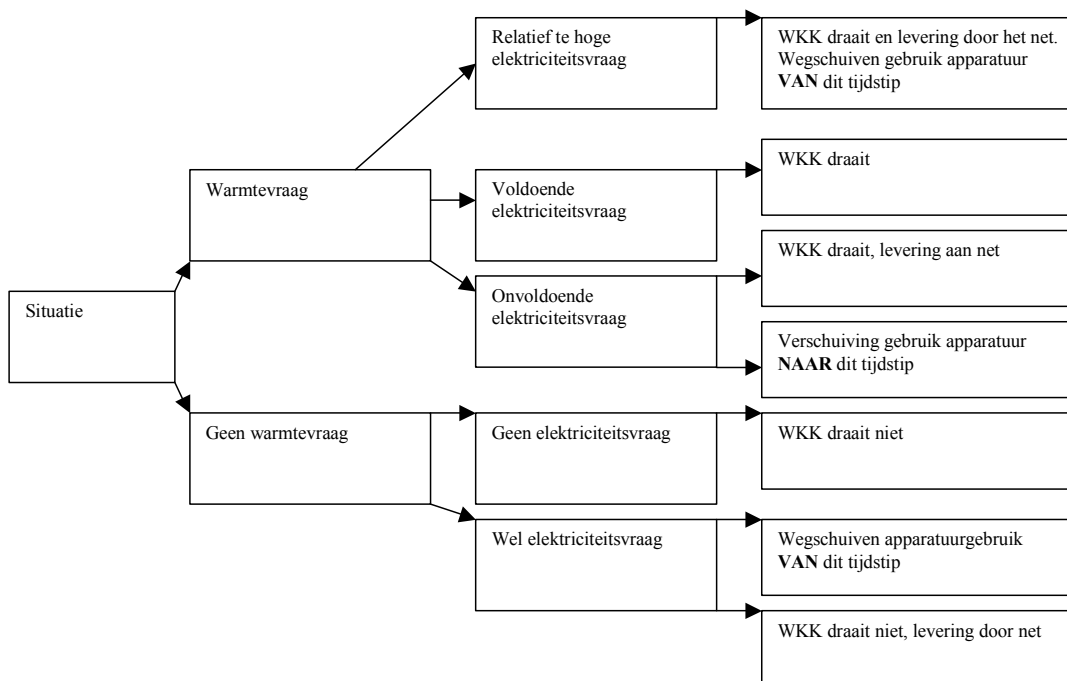
Bij het ontwerp en dimensionering van de installatie wordt er op dit moment van uitgegaan dat *alleen* het tijdstip van het opwarmen van de buffer (noodzakelijk om aan de vraag naar warm tapwater te voldoen) zoveel mogelijk op tijdstippen zal geschieden waarop de vraag naar elektriciteit hoog en de vraag naar warmte voor ruimteverwarming laag is. Buiten dit opwarmen van de buffer zal de installatie *warmtevraagvolgend* bedreven worden. Dit betekent concreet dat de installatie de warmtevraag van de woning volgt waardoor ook de elektriciteitsproductie vastligt. Bij dit onderzoek wordt ook van deze veronderstelling uitgegaan, de elektriciteitsvraag zal in het onderzoek op de warmtevraag en dus op het elektriciteitsaanbod afgestemd worden.

3. CONCEPTUEEL KADER

Een microwarmtekrachtinstallatie kan zich in een aantal toestanden bevinden. Het verschil tussen de verschillende toestanden is de verhouding tussen de warmte- en elektriciteitsvraag van het huishouden.

De streeftoestanden bestaan op de tijdstippen waarop de elektriciteitsvraag van het huishouden gelijk is aan een bepaalde constante maal de warmtevraag (de installatie wordt warmtevraagvolgend verondersteld). De waarde van de gebruikte constante is afhankelijk van het te gebruiken type installatie. De streeftoestanden worden aangegeven door het tweede en het vijfde blokje in de series van blokjes rechts in Figuur 3.1 hieronder. Als de installatie zich niet in één van de streeftoestanden bevindt zijn er verschillende mogelijkheden: of er wordt elektriciteit aan het net geleverd of er wordt elektriciteit aan het net onttrokken.

(Onnodige) levering van elektriciteit aan of door het net vermindert de economische rendabiliteit van de installatie. Door de elektriciteitsvraag te verschuiven kan het (onnodig) leveren aan of door het net voorkomen worden. Uit het figuur hieronder blijkt dat om de installatie in de streeftoestand te brengen de elektriciteitsvraag van momenten met relatief lage of geen warmtevraag naar momenten met een hoge warmtevraag verschoven moet worden. Het verschuiven van de elektriciteitsvraag binnen één dag is het onderwerp van deze studie. Hieronder zijn de verschillende toestanden waarin de installatie zich kan bevinden, in één figuur samengevat. In het figuur is de afkorting WKK gebruikt voor de microwarmtekrachtinstallatie.



Figuur 3.1 *Verschillende mogelijkheden waarin een WKK installatie zich kan bevinden.*

Het begrip van de verschillende toestanden kan gebruikt worden om een microwarmtekrachtinstallatie zo economisch mogelijk te laten draaien. In het volgende hoofdstuk wordt de methode beschreven, die gebruikt zal worden om de mogelijkheden voor verschuivingen van de elektriciteitsvraag te onderzoeken.

4. METHODE BEPALEN MOGELIJKHEDEN VERSCHUIVING

4.1 Overzicht

In dit hoofdstuk wordt de methode beschreven die gebruikt wordt om de mogelijkheden voor verschuivingen van het elektriciteitsvraagpatroon van elektrische apparatuur over de dag te bepalen. Bij het bepalen van de mogelijkheden wordt er van uitgegaan dat een microwarmtekrachtinstallatie gebruikt wordt voor de warmte- en stroomvoorziening van het huishouden. In dit hoofdstuk wordt eerst de methode beschreven die gebruikt wordt om een of meerdere apparaten te selecteren waarvoor verschuivingsopties gedefinieerd zullen worden. Om de opties voor verschuivingen van de elektriciteitsvraag van apparatuur (bijvoorbeeld: een vaatwasser) te bepalen wordt naar de functie die door de apparatuur vervuld (het afwassen) gekeken. Het uitvoeren van de functie moet verschuifbaar zijn.

Deze selectie kent een soort trechtvorm. Eerst wordt apparatuur geselecteerd en ingedeeld aan de hand van de hoogte van het jaarlijkse elektriciteitsgebruik van de apparatuur en het verloop van de elektriciteitsvraag van de functie over de dag (Paragraaf 4.2). Aan de hand van de indeling kan een ruwe inschatting gemaakt worden of het gebruik van de apparatuur over de dag verschoven kan worden. Vervolgens wordt in Paragraaf 4.3 de een nadere selectie van apparatuur beschreven waarvoor de verschuivingsopties uitgewerkt zullen worden. Welke aspecten bij deze uitwerking naar voren komen, wordt kort genoemd in Paragraaf 4.4.

4.2 Selectie van apparatuur en onderverdeling apparatuur in categorieën

De functies (bijvoorbeeld wassen of strijken) waarvoor de verschuivingsopties voor beschreven worden, worden eerst geselecteerd aan de hand van het gemiddelde elektriciteitsgebruik van de functies over het jaar. Voor de selectie van verschuivingsopties is het belangrijk dat er apparatuur geselecteerd wordt waarvan verschuiving een groot effect kan hebben. Dit gemiddelde jaarlijkse elektriciteitsgebruik wordt bepaald aan de hand van BEK (1998). In deze publicatie wordt het elektriciteitsgebruik van deze apparatuur voor een gemiddeld Nederlands huishouden over het jaar opgegeven. In eerste instantie wordt apparatuur geselecteerd die in BEK (1998) een in verhouding tot overige apparatuur een hoog elektriciteitsgebruik kent. De volgende criteria gelden bij deze selectie:

- Het elektriciteitsgebruik per apparaat per jaar (zoals gegeven in BEK, 1998) is meer dan 2% van het jaarlijks elektriciteitsgebruik van een (gemiddeld) huishouden.
- Warmtevraaggerelateerde functies worden niet geselecteerd. De elektriciteitsvraag van bijvoorbeeld boilers en de pomp van de CV-ketel blijft dus buiten beschouwing. Deze elektriciteitsvraag zal niet voorkomen in een huishouden met een microwarmtekrachtinstallatie. Het elektriciteitsgebruik van de microwarmtekrachtinstallatie is opgenomen in het rendement van de installatie.

De verschillende geselecteerde apparaten worden in groepen verdeeld al gelang de vorm van de elektriciteitsvraag van het apparaat over de dag. Per soort apparaat wordt het algemene elektriciteitsvraagpatroon over de dag beschreven. Al gelang dit vraagpatroon en de eisen die aan de vervulling van de functie van het apparaat gesteld worden wordt aangegeven welke verschuivingen mogelijk zouden kunnen zijn.

4.3 Methode selectie apparatuur waarvan de verschuivingopties uitgebreid beschreven worden

De gegevens uit de vorige paragraaf worden gebruikt bij de verdere selectie van apparatuur waarvan de verschuivingopties van beschreven zullen worden. Voor de apparatuur die aan de volgende criteria voldoet worden de verschuivingopties nader uitgewerkt. De criteria zijn:

- Het moet mogelijk zijn om in eerste instantie interessante verschuivingmogelijkheden voor de apparatuur te bedenken.
- Het gebruik van het apparaat moet niet (sterk) gekoppeld zijn aan het gebruik van andere apparaten. Het effect van de verschuiving is anders niet eenduidig te bepalen.

Als van tevoren duidelijk blijkt dat voor meerdere geselecteerde apparaten dezelfde verschuivingopties gelden (omdat de elektriciteitsvraag en het gebruik van de apparatuur erg met elkaar overeenkomt), worden de verschuivingopties voor slechts één van de apparaten uitgewerkt.

4.4 Verdere uitwerking geselecteerde verschuivingopties

Voor de apparaten die geselecteerd zijn worden de verschillende verschuivingopties uitgewerkt. Per optie wordt besproken wat de verschuiving inhoudt, hoe de verschuiving bereikt kan worden en wat de valkuilen bij de implementatie van de verschuiving zijn. Ook wordt de haalbaarheid van de verschuiving besproken.

5. RESULTATEN

In dit hoofdstuk wordt de hierboven beschreven aanpak uitgewerkt. Bij de beschrijving van resultaten is dezelfde trechtervorm gebruikt als bij de beschrijving van de gebruikte methode in het vorige hoofdstuk.

5.1 Resultaat selectie van apparatuur en onderverdeling van apparatuur in categorieën

5.1.1 Apparaten met een hoog elektriciteitsgebruik

De volgende apparaten kennen volgens BEK (1998) in verhouding een hoog elektriciteitsgebruik (groter of gelijk aan twee procent van het jaargebruik van een gemiddeld huishouden):

- Tweedeurs koelkast (meer dan 5%)
- Diepvrieskist/ kast (meer dan 5%)
- Koelkast met vriesvak
- Koelkast zonder vriesvak
- Vaatwasser
- Wasdroger
- Wasmachine
- Centrale woonhuis ventilatie unit
- Videorecorder
- TV (eerste toestel)
- Gloeilamp keuken
- Gloeilamp woonkamer.

Andere apparatuur die in een huishouden gebruikt wordt, kent gemiddeld gezien jaarlijks een lager elektriciteitsgebruik. Deze apparatuur wordt verder buiten beschouwing gehouden.

5.1.2 Onderverdeling apparatuur in categorieën

De hierboven geselecteerde apparaten kunnen onderverdeeld worden naar van de vorm van de elektriciteitsvraag van de apparatuur over de dag. De volgende categorieën zijn gebruikt:

- Functies die gespreid over de dag uitgevoerd worden,
- Functies die een beperkte periode elektriciteit vragen en die voor een bepaald tijdstip verricht moeten zijn,
- Functies die op een bepaald tijdstip/tijdens een bepaalde periode verricht moeten worden,

Er is voor deze indeling gekozen omdat verschuivingsmogelijkheden sterk met deze vorm samenhangen. Aan de hand van deze categorieën worden kenmerken van en verschuivingsopties voor deze apparatuur in de volgende deelparagrafen kort uitgewerkt.

Functies die gespreid over de dag uitgevoerd worden

- *Apparatuur*
Koelkast², diepvriezer, centrale woonhuis ventilatie unit.
- *Omschrijving elektriciteitsvraagpatroon*
Koelkasten en vriezers hebben een regelmatig terugkerende elektriciteitsvraag over de dag. De motor van de koelkast of vriezer slaat aan als de temperatuur binnen het apparaat te hoog wordt. Als de temperatuur onder een bepaald minimum komt, stopt de motor en daarmee de elektriciteitsvraag. Dit patroon herhaalt zich verschillende keren op een dag. Een woonhuis ventilatie unit draait op vol- en deellast. De unit kan niet uitgeschakeld worden.
- *Algemene verschuivingsmogelijkheden*
Het aanslaan van de motor voor koel- en vriesapparatuur kan verschoven worden door gebruik te maken van een mogen/moeten regeling. Bij deze regeling *mag* of *moet* de motor aan of uitslaan bij een bepaalde temperatuur. In het gebied tussen het mogen en moeten aanslaan of uitslaan van de motor, kan het aan- en uitslaan afgestemd worden op de elektriciteits- en warmtevraag van het huishouden. Zo kan bijvoorbeeld het aanslaan van de motor uitgesteld worden als op het 'normale' moment van aanslaan het huishouden een hoge elektriciteitsvraag heeft. Het elektriciteitsgebruik van de centrale woonhuis ventilatie unit kan niet verschoven worden. De motor staat altijd aan (een bepaalde minimum ventilatie is verplicht gesteld in het Bouwbesluit). De gebruiker zet de ventilator in de hoogste stand op het moment dat hij een hogere ventilatievraag heeft. Een verschuiving van dit moment tast het comfort van de gebruiker aan.

Functies die een beperkte periode elektriciteit vragen en die voor een bepaald tijdstip verricht moeten zijn

- *Apparatuur*
Vaatwasser, wasdroger, wasmachine.
- *Omschrijving elektriciteitsvraagpatroon*
De elektriciteitsvraag van deze reinigungsapparatuur is in het algemeen kortdurend (maximaal twee uur). Voor deze apparaten is het vaak niet van belang wanneer de taak precies uitgevoerd wordt, als de taak maar op een bepaald moment uitgevoerd is. Een groot deel van de apparatuur vraagt voor (een deel van) de reinigungszyclus een hoog vermogen.
- *Verschuivingsmogelijkheden*
Voor vaatwassers, wasmachines en drogers zijn er drie verschuivingsmogelijkheden:
 1. Het gebruik van de apparatuur kan in de periode voor het eindtijdstip (het punt dat bijvoorbeeld de was schoon en droog moet zijn) verschoven worden. De tijd waarop de taak gedaan is, is vaak alleen van belang voor de gebruiker.
 2. De vermogensvraag kan afgezwakt worden. De tijdsduur waarover het vermogen gevraagd wordt, wordt hierdoor langer en hoge elektriciteitspieken treden minder op.
 3. De conventionele apparatuur kan in het geval van wasmachines en vaatwassers vervangen worden door hotfill apparatuur. Dit zorgt voor een gedeeltelijke verschuiving van elektriciteits- naar warmtevraag.

² Hieronder valt de koelkast met vriesvak, de koelkast zonder vriesvak en de tweedeurskoelkast.

Functies die op een bepaald tijdstip/tijdens een bepaalde periode verricht moeten worden

- *Apparatuur*
Videorecorder, TV, gloeilampen.
- *Omschrijving elektriciteitsvraagpatroon*
De verschillende apparatuur kent vaak een stand-by gebruik en een verbruik tijdens de bedrijfstijd (niet het geval voor de lampen). De apparatuur wordt 'actief' gebruikt als de functie echt gevraagd wordt. De gebruiker wil bijvoorbeeld het nieuws zien en doet de TV aan. Ook komt actief gebruik voor op tijdstippen dat de gebruiker vergeten is dat de apparatuur nog aanstaat (bijvoorbeeld: een lamp die nog brandt).
- *Verschuivingmogelijkheden*
Het gebruik van deze apparatuur is meestal niet te verschuiven. De gebruiker wil op het moment dat hij de apparatuur aanzet dat de functie uitgevoerd wordt (de lamp moet aangaan, de TV moet aan etc). Buiten dit 'gewild actief' gebruik kent deze apparatuur ook een hoog 'vergeten actief' verbruik en hoog stand-by verbruik. Zo blijft een TV of lamp vaak aanstaan zonder dat er naar de TV gekeken wordt of licht nodig is. Het stand-by en 'vergeten' actief verbruik kan verminderd worden door middel van aanpassingen in het ontwerp van de apparatuur (waardoor bijvoorbeeld het uitzetten van apparatuur gestimuleerd wordt of het gevraagde vermogen lager wordt) en voorlichting aan de gebruiker (apparatuur uitschakelen). Deze maatregelen veroorzaken vermindering van het elektriciteitsgebruik maar geen verschuivingen in de elektriciteitsvraag.

5.2 Selectie apparatuur waarvoor de verschuivingopties voor beschreven zullen worden

De criteria genoemd in Paragraaf 4.3 zijn gebruikt om de apparatuur met een hoog elektriciteitsverbruik, geselecteerd in Paragraaf 5.1.1, nader te selecteren. Hierbij is gebruik gemaakt van de indeling van apparatuur aan de hand van de vorm van de gevraagde functie uit de vorige paragraaf.

Veel apparatuur is bij de selectie afgevallen omdat de elektriciteitsvraag van deze apparatuur niet verschoven kan worden. De wasmachine en wasdroger vallen af omdat het gebruik van deze apparaten erg met elkaar verbonden is.

De volgende apparatuur blijft over na de selectie:

- Koelkasten
- Diepvriezers
- Vaatwasser.

Omdat de verschuivingopties voor de koelkast en diepvriezer gelijksoortig zijn, is ervoor gekozen om alleen de verschuivingopties van de diepvriezer te beschrijven. Een diepvriezer wordt in het algemeen minder geopend dan een koelkast. De modellering van de verschuiving is hierdoor bij de diepvriezer gemakkelijker. Er hoeft minder rekening gehouden te worden met het openen van de vriezer.

5.3 Uitwerking verschuivingen voor twee apparaten: vaatwasser en diepvriezer

5.3.1 Inleiding

In deze paragraaf worden de verschuivingsopties voor de vaatwasser en de diepvriezer beschreven. Per apparaat (eerst de vaatwasser, daarna de diepvriezer) wordt de elektriciteitsvraag over de dag en de verschuivingsopties beschreven. Bij het beschrijven van de verschuivingsopties van de vaatwasser zijn zowel veranderingen in het tijdstip van afwassen, veranderingen in de vorm van de vaatwascyclus als de verschuiving van elektriciteits- naar warmtevraag beschreven. Voor de diepvriezer is het verschuiven van de elektriciteitsvraag door middel van een mogen/moeten regeling beschreven.

Bij de omschrijvingen van de verschuivingmogelijkheden worden de termen *script*, *open script* en *gesloten script* gebruikt. *Scripts* zijn structuren van bijvoorbeeld apparaten of omgevingen die het menselijk handelen aansturen. Scripts oefenen kracht uit op gebruikers, ze faciliteren bepaalde handelingen en bemoeilijken andere handelingen. Bij een *open script* is de sturende werking van het script kleiner dan bij een *gesloten script*. Bij een open script heeft een gebruiker keuzemogelijkheden. Hij kan een bepaalde gedraging wel of niet uitvoeren. Bij een volledig gesloten script wordt een gebruiker min of meer tot een bepaalde gedraging gedwongen.

Bij de omschrijvingen zijn ook de termen *handmatige* en *automatische* verschuivingen gebruikt. Bij een handmatige verschuiving moet de gebruiker zelf actie ondernemen om de verschuiving in gang te zetten, bij een automatische verschuiving wordt de verschuiving als het ware gedelegeerd aan de apparatuur (na eventueel instellen van de verschuivingmogelijkheden door de gebruiker). Een handmatige verschuiving kent vaak opener scripts dan een automatische verschuiving.

Voor de vaatwasser en de diepvriezer worden de verschillende verschuivingmogelijkheden mede aan de hand van de bovenstaande termen beschreven. In de volgende paragraaf wordt eerst de elektriciteitsvraag van de vaatwasser beschreven.

5.3.2 Vaatwasser

Omschrijving elektriciteitsvraagpatroon vaatwasser

De elektriciteitsvraag van de vaatwasser bestaat uit twee onderdelen: het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser over de gemiddelde dag en de vorm van de elektriciteitsvraag van één afwascyclus.

- *Elektriciteitsvraagpatroon over de dag*
Het afwaspatroon van zowel het gemiddelde huishouden, het gezin als het tweeverdienerhuishouden kent drie pieken. De elektriciteitsvraag van een vaatwasser is het hoogste rond negen uur morgens (lage piek), zeven uur 's avonds (gemiddeld hoge piek) en na tien uur 's avonds (hoge piek) (gegevens ontleend aan Van Dijk and Siderius, 1992). Dit patroon is te relateren aan het gebruik van de machine: de afwas wordt gedaan als de vaatwasser (redelijk) vol is (dus vaak na het ontbijt of avondeten) en de afwas moet schoon zijn voor de volgende maaltijd (meestal ontbijt).
- *Vorm elektriciteitsvraag afwascyclus*
De afwascyclus bestaat uit drie fasen.

Tijdens de eerste fase wordt het water opgewarmd, dit geeft een tijdelijk hoge elektriciteitsvraag (tot 3000W). De tweede fase kent een lage elektriciteitsvraag, tijdens deze fase wordt water rondgepompt en wordt de afwas twee keer met koud en één keer met warm water gespoeld. In de derde fase wordt de vaat op vol vermogen (3000W) gedroogd, deze droogfase kost ongeveer 5 minuten. Gemiddeld wordt 73% van het energiegebruik van de vaatwasser gebruikt om het water op te warmen. Het totaal vermogen en tijdsduur is afhankelijk van het programma. Een warme ('normale') vaatwas kost gemiddeld 1624 Wh en 76,6 minuten per cyclus. Een koude vaatwas kost 64 Wh en 26,5 min per cyclus (gegevens ontleend aan Anonymus)

Mogelijkheden verschuivingen vaatwasser

Er zijn drie typen verschuivingmogelijkheden bekeken (vergelijk 0):

- 1) Verandering tijdstip vaatwassen;
 - Handmatige verschuiving op basis van feedback
 - Automatische verschuiving door vooraf instellen limiettijdstip door gebruiker
 - Automatische verschuiving met een vast limiettijdstip
 - Automatische verschuiving naar een vast tijdstip.
- 2) Verschuiving/verandering in de vorm van de vaatwascyclus;
 - Verlengen wateropwarmfase en droogfase door het verlagen van het vermogen.
- 3) Verschuiving van de elektriciteitsvraag naar warmtevraag;
 - Gebruik hotfill apparatuur
 - Gebruik hotfill apparatuur in combinatie met uitstel opwarmen warm water buffer.

Per hoofdverschuiving (bijvoorbeeld verandering tijdstip vaatwassen) wordt uitgelegd wat in grote lijnen het effect is van de voorgestelde verschuiving. Vervolgens wordt er per 'deelverschuivingsoptie' de verschuiving in meer detail beschreven. Bij deze detailbeschrijving wordt de volgende indeling gebruikt:

- (nadere) omschrijving verschuiving en manieren om de verschuiving te bereiken
- benodigde aanpassingen gebruikersgedrag
- benodigde aanpassingen techniek
- valkuilen implementatie
- mogelijke oplossingen valkuilen implementatie
- oordeel haalbaarheid verschuivingen.

Verandering tijdstip vaatwassen

Het vaatwassen wordt verplaatst van een tijdstip met een lage verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag (de verhouding is kleiner dan één, er is dus minder aanbod dan vraag) naar een tijdstip met een hoge verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag (er is meer aanbod dan vraag).

- *Verandering tijdstip vaatwassen: handmatige verschuiving op basis van feedback*

(Nadere) omschrijving verschuiving en manieren om deze verschuiving te bereiken

De gebruiker wordt op het bestaan van een tekort of overschot aan elektriciteitsaanbod (lage verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag of hoge verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag) geattendeerd met behulp van lampjes. De gebruiker kan aan de hand van deze aanduiding beslissen wanneer hij de machine aanzet: er wordt dus gebruik gemaakt van een open script.

Benodigde aanpassingen gebruikersgedrag

De gebruiker moet in plaats dat hij de machine meteen aanzet, wachten tot het juiste lampje brandt. Hij moet dus soms meerdere malen per avond het lampje bekijken om te beslissen

wanneer de machine moet draaien. Als de machine aangezet is, wordt het volledige programma gedraaid (de machine wordt niet halverwege stopgezet omdat het elektriciteitsaanbod weer lager is).

Benodigde aanpassingen techniek

Aanleg regelkastje met verbinding met warmtekrachtinstallatie. Het regelkastje moet met behulp van lampjes aangeven of het elektriciteitsaanbod groter (groen lampje) of kleiner (rood lampje) is dan de momentane vraag naar elektriciteit.

Valkuilen implementatie

1. Het is goed mogelijk dat tussen het eerste mogelijke ogenblik van vaatwassen (na het avondeten) en het naar bed gaan van de gebruiker nog geen optimale vaatwasmogelijkheden zijn. Dit kan de gebruiker frustreren waardoor hij vervolgens zonder op de lampjes te letten de machine meteen start.
2. De gebruiker moet in plaats dat hij de machine meteen aanzet, wachten tot het juiste lampje brandt. Hij moet dus soms meerdere malen per avond het lampje bekijken om te beslissen wanneer de machine moet draaien. Dit is voor een drukbezet en strak georganiseerd huishouden geen optie (Wolsink, 1986).

Mogelijke oplossingen valkuilen implementatie

1. Gebruiker erop te attenderen dat de machine misschien 's ochtends kan draaien. 's ochtends kent een huishouden vaak een piek in warmtevraag omdat het huis opgewarmd moet worden. Het is mogelijk dat deze piek in elektriciteitsaanbod te laat in de ochtend optreedt, waardoor de gebruiker alsnog zijn machine op een onvoordelig tijdstip moet starten of waardoor de vaatwas niet op tijd klaar is.
2. Keuze geschikte deelpopulatie consumenten (geen drukbezette huishoudens).

Oordeel haalbaarheid verschuivingen

Laag, de meeste mensen hebben waarschijnlijk geen geduld om op een juist vaatwasmoment te wachten. Mensen die hiervoor wel voldoende geduld voor hebben zullen waarschijnlijk snel gefrustreerd raken als er geen geschikt 'vaatwasmoment' op een avond is.

- *Verandering tijdstip vaatwassen: automatische verschuiving door vooraf instellen van een 'limiettijd' door gebruikers*

(Nadere) omschrijving verschuiving en manier om deze verschuiving te bereiken

De gebruiker stelt bij het instellen van het wasprogramma ook het tijdstip in waarop de was klaar moet zijn ('de limiettijd'). Een regelsysteem bepaalt vervolgens het ideale vaatwasmoment in de periode tussen het tijdstip van het in de vaatwasser zetten van de afwas en het tijdstip waarop de afwas gedaan moet zijn. Op dit moment wordt de vaatwasser gestart en de afwas is voor de limiettijd gedaan.

Benodigde aanpassingen gebruikersgedrag

De gebruiker moet naast het instellen van het vaatwasprogramma, een extra instelling doorgeven. In het geval dat de gebruiker de schone vaat snel weer wil gebruiken kan een krappe limiettijd ingesteld worden.

Benodigde aanpassingen techniek

De vaatwasser moet gekoppeld worden aan een regelsysteem. Dit regelsysteem moet adaptief de juiste tijd om de vaatwas te draaien voorspellen. De stroomtoevoer van de vaatwasser moet door het regelsysteem geregeld worden.

Valkuilen implementatie

1. Kosten regelsysteem
2. De gebruiker kan een krappe limiettijd instellen: dit kan voor hem zelf makkelijk zijn (snel schone vaat) maar dit zorgt er ook voor dat verschuiving (vrijwel) niet mogelijk is.

Mogelijke oplossingen valkuilen implementatie

1. Regelsystemen worden steeds goedkoper
2. Bij het ontwerpen van de scripts van de vaatwasser of regelsysteem moet met deze mogelijkheid rekening gehouden worden. Het script moet vrijwel gesloten zijn, maar moet ook 'ontsnappingsmogelijkheden' bieden. Het script moet de gebruiker zo sturen dat de gebruiker standaard een ruime limiettijd opgeeft en slechts in enkele gevallen de limiettijd verkort. Het ruim instellen kan gestimuleerd worden door van de ruime instelling (een 'late limiettijd') de standaardmogelijkheid te maken. Hierdoor moet de gebruiker moeite doen om de limiettijd te verkorten. Door deze aanpassing van het script wordt de kans verkleind dat de gebruiker dagelijks een krappe limiettijd instelt³.

Oordeel haalbaarheid verschuivingen

De haalbaarheid wordt redelijk hoog ingeschat.

- *Verandering tijdstip vaatwassen: automatische verschuiving met vast limiettijdstip*

(Nadere) omschrijving verschuiving en manier om deze verschuiving te bereiken

Het limiettijdstip, waarop de vaatwasser gedraaid moet hebben, ligt vast. De vaatwas zal ergens voor het limiettijdstip gedaan worden. Het limiettijdstip en het tijdstip van draaien zijn afhankelijk van de verwachte warmte- en elektriciteitsvraag van het huishouden. Een gebruiker kan ingrijpen: hij kan instellen dat de afwas op een vroeger tijdstip klaar moet zijn.

Benodigde aanpassingen gebruikersgedrag

Om te verschuiven hoeft de gebruiker geen extra handeling te verrichten. Om binnen een kortere periode schone vaat te hebben, moet de gebruiker een nieuw tijdstip opgeven.

Benodigde aanpassingen techniek

De vaatwasser moet verbonden zijn met een regelsysteem. Dit regelsysteem moet (draadloos) in contact staan met de microwarmtekrachtinstallatie.

Valkuilen implementatie

1. Kosten regelsysteem
2. De gebruiker kan de verschuiving ongedaan maken door een veel vroeger tijdstip in te stellen. Het in enkele gevallen kunnen vervroegen van dit tijdstip is noodzakelijk om indien gewenst de gebruiker flexibiliteit te bieden. Deze mogelijkheid moet er echter niet toe leiden dat het gebruik van de vaatwasser dagelijks niet meer verschoven wordt.

Mogelijke oplossingen valkuilen implementatie

1. Regelsystemen worden steeds goedkoper
2. De tweede valkuil kan opgelost worden door een goede keus voor een script. Het script moet vrijwel gesloten zijn maar ook ontsnappingsmogelijkheden bieden. Een ruime instelling (een 'late limiettijd') moet een standaardinstelling zijn, waar de gebruiker desgewenst per keer van af kan wijken.

Oordeel haalbaarheid verschuivingen

De verschuiving is redelijk haalbaar.

³ Voor gebruikers die de vaat vrijwel altijd 'meteen' nodig hebben is deze verschuivingsoptie dus niet of minder geschikt.

- *Verandering tijdstip vaatwassen: automatische verschuiving naar een vast tijdstip*

(Nadere) omschrijving verschuiving en manier om deze verschuiving te bereiken

De vaatwasmachine wordt elke dag op een vast tijdstip gedraaid met behulp van een tijd-klok. Dit tijdstip hoeft niet direct na de maaltijd te zijn en wordt gekozen aan de hand van de verwachte elektriciteits- en warmtevraag van een huishouden. Het vaste afgastijdstip kan bijvoorbeeld bij de installatie van de microwarmtekrachtinstallatie ingesteld worden en jaarlijks bijgesteld worden. Een gebruiker kan incidenteel ingrijpen: hij kan instellen dat de afwas op een vroeger tijdstip moet gebeuren.

Benodigde aanpassingen gebruikersgedrag

Om te verschuiven hoeft de gebruiker geen extra handeling te verrichten. Om direct de afwas te kunnen doen, moet de gebruiker een nieuw tijdstip opgeven.

Benodigde aanpassingen techniek

Aanleg of aanpassing regelsysteem. Dit systeem moet verbonden worden met de stroomtoevoer van de vaatwasser. Het regelsysteem hoeft hiervoor niet te ingewikkeld te zijn.

Valkuilen implementatie

1. De verschuiving heeft, als de verwachting over de elektriciteits- en warmtevraag niet klopt, geen of zelfs een averechts effect op de energierekening.
2. De gebruiker kan de verschuiving ongedaan maken door een veel vroeger tijdstip in te stellen. Het in enkele gevallen kunnen vervroegen van dit tijdstip is noodzakelijk om indien gewenst de gebruiker flexibiliteit te bieden. Deze mogelijkheid moet er echter niet toe leiden dat het gebruik van de vaatwasser dagelijks niet meer verschoven wordt.
3. Als de vaatwasser zo ingesteld is dat hij op een vast tijdstip draait en het de gebruiker tijd en moeite kost om de vaatwasser op dat tijdstip niet te laten draaien, kan het zijn dat de gebruiker de vaatwasser vaker laat draaien.

Mogelijke oplossingen valkuilen implementatie

1. De verwachtingspatronen voor de warmte en elektriciteitsvraag moeten bekend zijn.
2. De tweede valkuil kan opgelost worden door een vrijwel gesloten script te gebruiken. Dit script moet de gebruiker richting de verschuiving sturen. Het verschuiven van de elektriciteitsvraag moet de standaardinstelling van het regelsysteem zijn, van deze standaardinstelling kan de gebruiker desgewenst per keer afwijken.
3. Het mogelijk vaker draaien van de vaatwas kan voorkomen worden. Het script van de vaatwasser moet zo ontworpen dat wel draaien geen gedragskostenvoordeel oplevert boven niet draaien. Met andere woorden: de gebruiker moet om de machine te laten draaien tenminste evenveel handelingen verrichten als die handelingen die nodig zijn om de machine niet te laten draaien.

Oordeel haalbaarheid verschuivingen

De verwachte elektriciteits- en warmtevraagpatronen moeten voor een huishouden bekend zijn. Deze patronen zijn moeilijk te verkrijgen. Dit verlaagt de haalbaarheid van deze verschuivingoptie.

Verschuivingen/veranderingen in de vorm van de vaatwascyclus

- *Verschuivingen/veranderingen in de vorm van de vaatwascyclus: verlening wateropwarmfase en droogfase*

(Nadere) omschrijving verschuiving en manier om deze verschuiving te bereiken

De elektriciteitsvraag van de vaatwasmachine kent twee hoge pieken: de wateropwarmpiek en de droogpiek. De pieken kunnen afgezwakt worden door een lager vermogen te gebrui-

ken. Het wateropwarmen en het drogen duren hierdoor langer. Door het opwarm- en droogvermogen te halveren verdubbelt de tijdsduur die de machine nodig heeft voor het opwarmen en drogen.

Benodigde aanpassingen gebruikersgedrag

In de meeste gevallen: geen.

In de gevallen dat de gebruiker de schone vaat snel nodig heeft, zal de gebruiker iets langer moeten wachten. Dit weinig voorkomende langere wachten zal de gebruiker moeten accepteren⁴.

Benodigde aanpassingen techniek

Plaatsing vermogensbegrenzer tussen stopcontact en vaatwasser⁵.

Valkuilen implementatie

1. De totale cyclus moet niet teveel tijd gaan kosten.
2. Het opwarmen van het water moet niet te lang duren, anders gaat er teveel warmte verloren.
3. Het drogen van de vaat moet niet te traag verlopen, anders ontstaan er strepen op de vaat.

Mogelijke oplossingen valkuilen implementatie

Optimalisatie vermogenafname of eventueel een andere luchtcirculatie binnen de machine.

Oordeel haalbaarheid verschuivingen

De haalbaarheid is goed. Het invoeren van de verschuiving (of eigenlijk het verlengen en verlagen van de elektriciteitsvraagpieken) veroorzaakt weinig tot geen extra (gedrags-) kosten.

Verschuiving van de elektriciteitsvraag naar warmtevraag

In plaats van een conventionele vaatwasser wordt een hotfill vaatwasser gebruikt. De energievraag voor het opwarmen van het water wordt hierdoor grotendeels gedekt door warm water in plaats van door elektriciteit.

- *Verschuiving van elektriciteitsvraag naar warmtevraag: gebruik hotfill apparatuur*

(Nadere) omschrijving verschuiving en manieren om de verschuiving te bereiken

De energievraag voor het opwarmen van het water wordt grotendeels gedekt door warm water in plaats van door elektriciteit. In het eerste deel van de cyclus gaat de warmtevraag (electriciteitsaanbod) omhoog terwijl de elektriciteitsvraag zakt. De tweede elektriciteitsvraagpiek ('het drogen') verandert niet.

Benodigde aanpassingen gebruikersgedrag

Een gebruiker moet een hotfill vaatwasmachine aanschaffen.

Benodigde aanpassingen techniek

De vaatwasser moet een warm wateraansluiting hebben.

Valkuilen implementatie

⁴ Deze verschuivingsmogelijkheid is dus niet geschikt voor huishoudens die de schone vaat regelmatig snel weer willen gebruiken.

⁵ Een aandachtspunt hier is de interne klok van de vaatwasser. Als deze klok door de verlaging van het vermogen niet evenredig langzamer gaat lopen, duurt bijvoorbeeld het opwarmen te kort, waardoor de vaatwasser zijn functie niet goed kan uitvoeren.

1. Op een bepaald moment wordt de afwasmachine aangezet. Als het huishouden op dat moment juist een lage elektriciteitsvraag heeft, werkt de verschuiving averechts.
2. Hotfill apparatuur is een nieuwe nog bijna onbewezen technologie waarvan het gebruik waarschijnlijk door verkopers en installateurs afgeraden wordt.
3. Er is voor hotfill apparatuur een aparte warmwateraansluiting nodig. Deze aansluiting moet aangelegd worden, dit geeft extra kosten en overlast.
Het gebruik van een hotfill afwasmachine kent ook kleinere nadelen. In het geval van hotfillwasmachine moet het water geleidelijk opgewarmd worden om het wasmiddel zijn werk goed te laten doen (Menkveld and Beeldman, 1997). Het is mogelijk dat dit ook voor vaatwasmiddelen geldt. Hotfill vaatwasmachines zijn op de markt maar het is mogelijk dat deze om bovengenoemde reden speciale en daardoor duurdere vaatwasmiddelen gebruiken.

Mogelijke oplossingen valkuilen implementatie

1. De gebruiker moet ingelicht worden op wat voor soort tijdstippen hij het best zijn vaatwas kan draaien. Dit kan door gebruik van algemene richtlijnen maar ook door het attenderen van de gebruiker met behulp van waarschuwinglampjes.
2. De verschuivingsmogelijkheid moet aan de juiste groep consumenten aangeboden worden. Alleen voorlopers die een eigen kosten baten analyse opstellen investeren in innovaties die afgeraden wordt door installateurs en dergelijke (Dieperink et al., 2001). Deze kosten baten analyse moet voor deze groep consumenten wel positief zijn. In de analyse moeten ook deze kleinere nadelen van hotfill apparatuur verrekend worden.
3. en 4.: Zie 2.

Oordeel haalbaarheid verschuivingen

Hotfill apparatuur wordt nog maar zeer beperkt op de Nederlandse markt toegepast ondanks economisch redelijke terugverdientijden van de apparatuur. Eén van de problemen van hotfill apparatuur is dat er een warmwateraansluiting aangelegd moet worden. Bij nieuwbouw geeft dit weinig meerkosten of overlast. Bij bestaande bouw (op dit moment de 'doelgroep' voor microwarmtekrachtinstallaties) zijn deze kosten echter aanzienlijk. De haalbaarheid van deze verschuiving wordt daarom als laag ingeschat.

Opmerking

Het gebruik van een hybride vaatwasmachine is ook mogelijk. De keuze voor het gebruik van warm water (hotfill) of het elektrisch opwarmen van koud water (conventioneel), zou in dit geval kunnen afhangen van de verhouding tussen de warmtevraag en elektriciteitsvraag van het huishouden. Een hybride apparaat is zover bekend echter niet op de markt.

- *Verschuiving van elektriciteits- naar warmtevraag: gebruik hotfill apparatuur in combinatie met uitstel opwarmen warm water buffer*

Nadere omschrijving verschuiving en manieren om deze verschuiving te bereiken

De energievraag voor het opwarmen van het water wordt door het gebruik van hotfill apparatuur grotendeels gedekt door warm water in plaats van door elektriciteit. Hiervoor wordt warm water uit de buffer gebruikt. De buffer wordt pas weer opgewarmd tijdens de droogfase van de cyclus. Tijdens de droogfase kent het huishouden een hoge elektriciteits- en warmtevraag, de warmte en elektriciteit kunnen tenminste gedeeltelijk door de microwarmtekrachtinstallatie geleverd worden. Voor het uitstellen van het opwarmen wordt een regelsysteem gebruikt.

Benodigde aanpassing gebruikersgedrag

Aanschaf hotfill vaatwasmachine.

Benodigde aanpassing techniek

Aanschaf of aanpassing regelsysteem.

Valkuilen implementatie verschuiving

1. Valkuilen voor de implementatie van hotfill apparatuur in het algemeen: zie de vorige verschuivingsoptie.
2. Kosten aanschaf/aanpassing regelsysteem.
3. Er kunnen tekorten aan warm tapwater ontstaan in de periode tussen het gebruik en opwarmen van de warmwaterbuffer. In dit geval zal een piekbrander gebruikt worden om dit tekort op te heffen, waardoor de economische prestatie van het systeem daalt.

Mogelijke oplossingen valkuilen implementatie

1. Zie vorige verschuiving.
2. Regelsystemen worden steeds goedkoper.
3. Dit tekort aan tapwater moet zoveel mogelijk voorkomen worden. Dit kan gebeuren door de gebruiker zo goed mogelijk in te lichten.

Oordeel haalbaarheid verschuiving

Laag, vanwege de redenen genoemd bij de vorige verschuiving. De haalbaarheid wordt nog meer verlaagd door de kosten van het regelsysteem en de mogelijke noodzakelijke inzet van de piekbrander.

5.3.3 Diepvriezer

Omschrijving elektriciteitsvraagpatroon diepvriezer

Een diepvriezer werkt met behulp van een thermostaat. De motor van een diepvriezer slaat aan als de inhoud van de vriezer te warm wordt. Als de motor aanstaat, koelt de inhoud af totdat een bepaalde minimum temperatuur wordt bereikt. De motor staat dan weer uit. De elektriciteitsvraag en de duur van het draaien van de motor kan per diepvriezer verschillen. In (Anonymus) wordt het voorbeeld gegeven van een efficiënte en een niet efficiënte vriezer. In dezelfde publicatie wordt aangetoond dat nieuwe vriezers efficiënter zijn dan oudere diepvriezers. Omdat de verschuivingsmogelijkheden pas in de toekomst relevant worden, wordt hier uitgegaan van het patroon van de nieuwere efficiëntere vriezer. De motor van de efficiënte diepvriezer slaat 17 keer per dag aan (eens per anderhalf uur) en blijft dan voor 20 minuten draaien. Als de motor draait gebruikt de diepvriezer een vermogen van ongeveer 170 watt. Een nieuwe vriezer kent geen stand-by gebruik.

Mogelijkheden verschuivingen diepvriezer

Het elektriciteitsgebruik van een diepvriezer kan verschoven worden door het gebruik van een mogen/moeten regeling. Deze verschuivingsoptie staat hieronder beschreven. Bij de beschrijving is net zo als bij de verschuivingsopties van de vaatwasser de volgende indeling gebruikt:

- (nadere) omschrijving verschuiving en manieren om de verschuiving te bereiken
- benodigde aanpassingen gebruikersgedrag
- benodigde aanpassingen techniek
- valkuilen implementatie
- mogelijke oplossingen valkuilen implementatie
- oordeel haalbaarheid verschuivingen.

Verschuiving elektriciteitsvraagpatroon diepvriezer met behulp van een mogen/moeten regeling

(Nadere) omschrijving verschuiving en manieren om de verschuiving te bereiken

De motor van een diepvriezer wordt normaliter geregeld met behulp van een thermostaat. Deze thermostaat trekt als het ware twee grenzen. Als de inhoud van de diepvriezer boven een be-

paalde temperatuur komt *moet* de motor aanslaan. Komt de temperatuur onder een andere vaststaande temperatuur dan slaat de motor uit. Een mogen/moeten regeling maakt gebruik van vier temperatuursgrenzen. Als de temperatuur boven een bepaalde waarde komt dan *mag* de compressor aanslaan waardoor de temperatuur van de inhoud weer afneemt. Dit *hoeft* echter niet. De compressor of motor *moet* pas aanslaan als de temperatuur nog verder stijgt en boven een andere bepaalde grens komt. Bij het afslaan van de motor geldt hetzelfde principe. Na het bereiken van een bepaalde temperatuur *mag* de motor afslaan. De compressor mag echter ook blijven draaien totdat de inhoud van de vriezer tot onder de andere grens afkoelt. Op dat punt *moet* de motor uitslaan. In het gebied tussen het *mogen* en *moeten* uitslaan wordt de inhoud van de diepvriezer kouder gemaakt dan eigenlijk nodig is. De koude wordt opgeslagen. Het aanslaan van de vriezermotor bij de volgende cyclus wordt hierdoor uitgesteld. De regeling kan in het gebied 'tussen mogen en moeten' beslissen of de motor meteen aan- of uitslaat of dat dit beter uitgesteld kan worden. De regeling hanteert hierbij de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en de elektriciteitsvraag als beslissingscriterium. Op de momenten dat een huishouden in verhouding veel elektriciteit gebruikt, wordt het aanslaan van de motor (en dus het elektriciteitsgebruik van de diepvriezer) zover mogelijk uitgesteld. Op de momenten dat de elektriciteitsvraag in verhouding tot het elektriciteitsaanbod laag is, kan de diepvries motor langer blijven draaien. De inhoud van de diepvriezer koelt daardoor verder af waardoor het aanslaan van de motor tot later op de dag uitgesteld kan worden.

Benodigde aanpassingen gebruikersgedrag

Aanschaffen diepvriezer met regelsysteem.

De gebruiker merkt er verder niets van dat de elektriciteitsvraag verschoven wordt. Met andere woorden: de verschuiving is niet manifest.

Benodigde aanpassingen techniek

De diepvriezer moet een mogen/moeten regeling hebben. Er moet (draadloze) communicatie tussen het regelsysteem van de diepvriezer en microwarmtekrachtinstallatie mogelijk zijn.

Valkuilen implementatie

1. Er moet een diepvriezer met een mogen/moeten regeling op de markt zijn.
2. De mogen/moeten regeling kan de diepvriezer duurder maken waardoor de gebruiker deze diepvriezer minder snel zal kopen.

Mogelijke oplossingen valkuilen implementatie

1. Mogen/moeten regelingen zijn op de markt voor gebruik in onder andere industriële koel- en vrieshuizen. De regelingen moeten voor het gebruik in diepvriezers geïntegreerd worden met de diepvriezer. De diffusie van de bestaande mogen/moeten regelingen verloopt moeizaam vanwege een conservatieve afzetmarkt. De ontwikkeling en diffusie van vrieskasten met daarin een mogen/moeten regeling moet daarom waarschijnlijk actief ondersteund worden.
2. De diffusie van deze techniek over de markt moet actief ondersteund worden. De extra investering moet een lage terugverdientijd hebben en deze terugverdientijd moet bekend gemaakt worden bij mogelijke afnemers.

Oordeel haalbaarheid verschuivingen

De verschuiving is haalbaar. Regelsystemen worden steeds goedkoper en worden in steeds meer apparaten toegepast (bijvoorbeeld regelsystemen voor CV-ketels). De gebruiker heeft geen invloed op de verschuiving en merkt ook niets van deze verschuiving.

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Door de elektriciteitsvraag van het huishouden in bezit van een microwarmtekrachtinstallatie aan te passen op de warmtevraag van het huishouden en dus op het elektriciteitsaanbod van de installatie kan mogelijk de economische en energetische rendabiliteit van de installatie verbeterd worden. Het elektriciteitsvraagpatroon van een huishouden kan verschoven worden met behulp van gedragsmatige technisch gemedieerde verschuivingen van het gebruik van apparatuur binnen het huishouden. De verschuivingmogelijkheden voor huishoudelijke apparatuur zijn hiervoor gerelateerd aan de vorm van de elektriciteitsvraag van de uit te voeren functie. De functies die door apparatuur in een huishouden vervuld worden kunnen onderverdeeld worden in drie categorieën:

- Functies die gespreid over de dag uitgevoerd worden (bijvoorbeeld koelkast, diepvriezer).
- Functies die gedurende een beperkte periode elektriciteit vragen en voor een bepaald tijdstip verricht moeten worden (bijvoorbeeld vaatwasser, wasmachine).
- Functies die op een bepaald tijdstip/tijdens een bepaalde periode verricht moeten worden (bijvoorbeeld TV, lampen).

Het elektriciteitsvraagpatroon van apparatuur die gebruikt wordt voor de vervulling van functies die gespreid over de dag uitgevoerd worden, kan in het algemeen verschoven worden door het moment van het aan- en uitschakelen van de motor van het apparaat automatisch te verschuiven. Het elektriciteitsvraagpatroon van apparatuur gebruikt voor de vervulling van functies die voor een bepaald tijdstip verricht moeten zijn, kan onder andere verschoven worden door de periode die tussen het normaal vervullen van de functie van het huishouden en het tijdstip waarop de functie uitgevoerd moet zijn (het limiettijdstip), te benutten. Zo kan bijvoorbeeld een vaatwas later op de avond gedraaid worden, als de afwas maar op tijd schoon is. Het elektriciteitsvraagpatroon van apparatuur die gebruikt wordt om de functies uit de derde categorie te vervullen, kan niet verschoven worden.

De verschuivingmogelijkheden van twee apparaten uit verschillende categorieën, namelijk de diepvriezer en de vaatwasser, zijn nader beschreven en beoordeeld op haalbaarheid. De volgende verschuivingen worden haalbaar geacht:

- Het verschuiven van het elektriciteitsvraagpatroon van de diepvriezer door middel van een mogen/moeten regeling.
- Verandering van het tijdstip van vaatwassen door middel van een automatische verschuiving door het vooraf instellen van een limiettijd door de gebruiker.
- Verandering van het tijdstip van vaatwassen door middel van een automatische verschuivingen met een vast limiettijdstip.
- Verschuivingen binnen het elektriciteitsvraagpatroon door middel van veranderingen in de vorm van de vaatwascyclus.

De haalbaarheid van verschuivingen wordt negatief beïnvloed in de gevallen dat:

- een (drukbezet) huishouden handmatig de elektriciteitsvraag moet uitstellen;
- een verschuiving hoge initiële kosten met zich meebrengt (aanleg regelsysteem, warm waterinvoer etc.);
- nieuw te ontwerpen apparatuur nodig is om de verschuiving mogelijk te maken (op langere termijn hoeft dit geen belemmering te zijn).

De grootte van het mogelijke positieve effect van de verschuivingoptie is naar verwachting sterk afhankelijk van het *script* dat gebruikt wordt op de verschuiving te bewerkstelligen. Met *script* wordt hier een structuur van bijvoorbeeld een apparaat of omgeving bedoeld die het menselijk handelen aanstuurt. Een keuze voor een *script* dat te *open* is, dat wil zeggen de keus voor een script dat de gebruiker teveel keuzevrijheid biedt, kan ervoor zorgen dat de verschuiving in

praktijk weinig toegepast wordt. Het te gebruiken script moet echter ook niet te gesloten zijn. De gebruiker moet altijd de mogelijkheid hebben het elektriciteitsvraagpatroon niet te verschuiven, indien de verschuiving de gebruiker op dat moment niet goed uitkomt. In het geval van het voorbeeld van de vaatwasser, moet de gebruiker ook de mogelijkheid hebben de vaatwas direct te draaien. Het script moet in andere woorden voldoende gesloten zijn om de verschuiving (sterk) te stimuleren maar ook voldoende open zijn om het tegengaan van de verschuiving door de gebruiker mogelijk te maken.

In de hierop volgende casestudie wordt het effect van een verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van een vaatwasser bepaald op de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod (warmtevraag) en de elektriciteitsvraag over de dag voor een huishouden in bezit van een microwarmtekrachtinstallatie.

7. CASESTUDIE MICROWARMTEKRACHT

7.1 Inleiding

Deze casestudie is een uitwerking van het onderzoek over de mogelijkheden voor verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van een huishouden over de dag. In dit onderzoek zijn aan de hand van (de vorm van) het elektriciteitsgebruik van apparatuur opties voor de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon geformuleerd.

In deze casestudie zal bepaald worden wat het effect is van één van de gevonden mogelijke verschuivingen van het elektriciteitsvraagpatroon op de warmte- en elektriciteitsvraagpatronen van een huishouden dat elektriciteit en warmte produceert met behulp van een microwarmtekrachtinstallatie. Het effect wordt aangegeven aan de hand van figuren die in de situatie met en zonder verschuiving de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod (een constante maal de warmtevraag van het huishouden) van de installatie en de elektriciteitsvraag van het huishouden weergeven. De verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag is in de streefsituatie gelijk aan één. Op het moment dat de elektriciteitsvraag gelijk is aan het elektriciteitsaanbod hoeft er geen elektriciteit meer aan het net onttrokken te worden of aan het net teruggeleverd te worden.

Er is ervoor gekozen het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser met behulp van een vast limiettijdstip te bepalen. In praktijk betekent het uitvoeren van deze verschuiving dat een regelsysteem binnen de periode tussen het in de machine zetten van de vaat en een bepaald vast tijdstip, mag bepalen wanneer de afwas gedaan moet worden. De verschuiving is haalbaar, kent zowel gedragsmatige als technische aspecten en is modelmatig gemakkelijk te benaderen.

Er is er ook voor gekozen het effect van de verschuiving te bepalen voor één bepaalde huishoudsituatie. Als huishoudsituatie is gekozen voor een gezin wonend in een al bestaande tussenwoning. Bij het ontwerp van de installatie wordt er namelijk uitgegaan van een mogelijke niche voor de installatie bij huishoudens die relatief veel warmte en niet weinig elektriciteit gebruiken. Een gezin wonend in een bestaande tussenwoning komt in Nederland relatief vaak voor en is vaak zowel in een warmte- als elektriciteitsverbruik een grootgebruiker onder de huishoudens.

De casestudie is opgebouwd in delen. Hieronder staat per deel de inhoud van het deel weergegeven:

- Omschrijving installatie: in dit deel worden de (technische) vooronderstellingen over de microwarmtekrachtinstallatie beschreven.
- Aanpak: in dit deel wordt onder andere de modellering van de elektriciteitsvraag- en warmtevraagpatronen van het huishouden en de benadering van de verschuiving met behulp van deze modellen beschreven.
- Resultaten.
- Evaluatie gemaakte keuzes: in dit deel wordt zeer kort kwalitatief aangegeven in hoeverre een andere keuze van uitgangspunten een effect kan hebben op het resultaat van verschuivingen.
- Aanbevelingen en conclusies.

7.2 Omschrijving installatie

Omdat microwarmtekrachtinstallaties nog in de ontwerpfase verkeren is het op veel punten nog onduidelijk hoe een eventueel commercieel verkrijgbare microwarmtekrachtinstallatie eruit zal zien. Bij dit onderzoek is van de volgende gegevens uitgegaan:

- De microwarmtekrachtinstallatie zal warmtevraagvolgend bedreven worden. In dit onderzoek betekent dit concreet dat de elektriciteitsvraag op de warmtevraag en dus op het elektriciteitsaanbod afgestemd wordt.
- De microwarmtekrachtinstallatie is gedimensioneerd op een maximaal elektrisch vermogen van 1 kW.⁶
- Er wordt uitgegaan van een door brandstofcellen aangedreven microwarmtekrachtinstallatie. Bij het ontwerp van de installatie is er nog geen keus gemaakt tussen de brandstofcel aangedreven of Stirlingmotor aangedreven installatie. Door de kleinere warmtekrachtverhouding van de brandstofcel aangedreven installatie zullen de effecten van de verschuiving op verschillende tijden van het jaar subtieler van elkaar verschillen. Bij een Stirlingmotor aangedreven installatie wordt bij het ontbreken van een vraag naar ruimteverwarming, de elektriciteitsaanbod van de installatie erg klein.
- Het elektrisch rendement van de niet bestaande gemiddelde brandstofcel aangedreven microwarmtekrachtinstallatie wordt gelijkgesteld aan het gemiddelde rendement van de wel bestaande brandstofcel aangedreven installaties. Deze vereenvoudiging is mogelijk omdat de verschillende rendementen van deze installaties niet veel van elkaar verschillen.
- Het maximaal elektrisch vermogen begrenst het thermische vermogen dat de installatie energiezuinig kan opwekken. Op de momenten met een hogere warmtevraag wordt een piekbrander gebruikt om het benodigde thermische vermogen te leveren.
- Er wordt uitgegaan van een grote warmtebuffer (50 tot 100 liter). Bij het ontwerp wordt van dezelfde waarde uitgegaan.⁷
- Het opwarmen van een warmtebuffer gebeurt zoveel mogelijk op tijdstippen waarop dat de vraag naar warmte voor ruimteverwarming laag is⁸ en de elektriciteitsvraag van het huishouden hoog is⁹. Bij het ontwerp van de installaties wordt van dit principe uitgegaan.

7.3 Aanpak

Om te bepalen wat het effect is van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser met behulp van een vast limiet tijdstip moeten verschillende stappen gezet worden:

- De elektriciteits- en warmtevraag voor een gezin wonend in een tussenwoning wordt gemodelleerd.
- De verhouding tussen het elektriciteitsaanbod van de installatie (een constante maal de warmtevraag van het huishouden) en de elektriciteitsvraag van het huishouden voor het gezin wonend in een tussenwoning wordt bepaald.
- De verschuiving van de elektriciteitsvraag wordt in het model opgenomen en de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod van de installatie en de elektriciteitsvraag van het huishouden wordt opnieuw bepaald.
- De verhouding tussen het elektriciteitsaanbod van de installatie en de elektriciteitsvraag van het huishouden met en zonder de verschuiving wordt in één figuur met elkaar vergeleken.

Het elektriciteitsaanbod van de installatie is gelijk aan het omgekeerde van de warmtekrachtverhouding maal de warmtevraag van het huishouden. In het geval dat de elektriciteitsvraag gelijk

⁶ Persoonlijke mededeling tijdens projectbespreking, Marcel Weeda, Peter van der Laag, Hajo Ribberink, Schoon Fossiel, ECN, d.d. 7-01-2002.

⁷ Persoonlijke mededeling Peter van der Laag, Schoon Fossiel, ECN, 18-09-2001.

⁸ Persoonlijke mededeling tijdens projectbespreking, Marcel Weeda, Peter van der Laag, Hajo Ribberink, Schoon Fossiel, ECN, d.d.7-01-2002.

⁹ Mail Peter van der Laag, Schoon Fossiel, ECN, d.d. 19-9-2001.

is aan het elektriciteitsaanbod hoeft er geen elektriciteit aan het net onttrokken worden of aan het net geleverd te worden. Dit is de streeftoestand voor de microwarmtekrachtinstallatie met dien verstande dat rekening gehouden moet worden met het maximale vermogen van de installatie van 1 kW_{elektrisch}.

In de volgende paragraaf wordt de modellering van de elektriciteits- en warmtevraag van het huishouden besproken. In de daaropvolgende paragraaf wordt besproken hoe de verschuiving benaderd is voor de bepaling van het effect van de verschuiving. De verhouding tussen het elektriciteitsaanbod van de installatie en de elektriciteitsvraag van het huishouden met en zonder de verschuiving wordt vervolgens met elkaar vergeleken in Paragraaf 7.6: resultaten.

7.4 Modelling

De warmte- en elektriciteitsvraag wordt met drie verschillende modellen gemodelleerd: een elektriciteitsvraagmodel, een warmtevraagmodel en een tapwatervraagmodel. Bij alle modellen wordt er uit gegaan van de gemiddelde vraag van een grote groep huishoudens. Door dit te doen kan een algemener inzicht in het mogelijke effect van verschuivingen verkregen worden. De elektriciteits- en warmtevraagpatronen van één huishouden zijn zeer afhankelijk van toeval om een algemeen beeld van het effect van verschuivingen te verkrijgen. Dit uitgangspunt heeft wel als nadelig effect dat pieken in de elektriciteits- en warmtevraag verbreed en afgezwakt worden¹⁰. De opbouw van de modellen staat -kort- in de volgende paragrafen beschreven. Een uitgebreidere beschrijving van de modellen staat in Appendix A tot C.

7.4.1 Het elektriciteitsvraag model

Dit model berust op huishoudelijke functies zoals wassen, vaatwassen en verlichting. Per functie wordt op een bepaalde soort dag en voor het gezin de elektriciteitsvraag bepaald. Het jaar is hiervoor opgesplitst naar maandagen, dinsdagen tot en met vrijdagen en weekenden en in drie seizoenstypen: lente/herfst, winter en zomer. Voor de modellering van een huishouden in het bezit van een microwarmtekrachtinstallatie worden de warmtegerelateerde functies uit het elektriciteitsvraagpatroon weggelaten. De elektriciteitsvraag van deze functies treedt bij een microwarmtekrachtinstallatie alleen op het moment dat er warmte geproduceerd wordt en is verwerkt in het rendement van de installatie. De elektriciteitsvraag kan, zoals in Appendix A beschreven wordt, met behulp van het model ook voor het gemiddelde huishouden en het bovengemiddelde verdienende tweeverdienerhuishouden bepaald worden.

7.4.2 Het warmtevraag model

Dit model berust op gegevens berekend door Bakker et al. (2000). In (Bakker et al., 2000) is de warmtevraag van vijf verschillende woningtypen (galerijwoning, tussenwoning, kopwoning, twee onder één kap, en vrijstaande woning) per kwartier over het jaar berekend. Met het warmtevraagmodel wordt de warmtevraag van een tussenwoning per uur bepaald voor de verschillende jaargetijden en voor week- en weekenddagen. De warmtevraag kan, zoals in Appendix B beschreven wordt, met behulp van het model ook voor de overige woningtypen bepaald worden.

7.4.3 Het tapwatermodel

Het tapwatermodel berust op het standaardtappatroon gegeven door (NEN, 1998). Er wordt ervan uitgegaan dat de warmtebuffer van de installatie gebruikt wordt voor de tapwatervoorziening. Het gebruik van de buffer voor opslag van tapwater is noodzakelijk omdat voor de bereiding van warm tapwater vaak kortdurend erg hoge vermogens gevraagd worden. In het model kunnen verschillende opwarmmogelijkheden van de warmtebuffer ingepast worden. Hier wordt, conform de veronderstelling gedaan in Paragraaf 7.2, ervoor gekozen de buffer op te warmen op tijdstippen dat de vraag naar ruimteverwarming laag is. Op welke tijdstippen dit is, wordt berekend in Appendix D.

¹⁰ De pieken in elektriciteits- en warmtevraag worden als het ware over een langere periode van de dag uitgesmeerd.

De gegevens uit de drie modellen worden gecombineerd in een model dat voor de verschillende soorten dagen in het jaar de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en de -vraag berekent. De berekende verhouding wordt vervolgens gezien over de dag in een figuur weergegeven. Het model maakt onderscheid tussen maandagen, dinsdagen tot en met vrijdagen en weekenddagen in en de vier verschillende seizoenen¹¹. Per verschillende situatie (invoer van een verschillend elektriciteitsvraagpatroon of warmtevraagpatroon) wordt het effect van de invoer dus in twaalf verschillende figuren weergegeven.

7.5 De benadering van de verschuiving in het model

Om te bepalen hoe het gebruik van de vaatwasser verschoven moet worden, zijn de tijdstippen waarop de functie in het algemeen uitgevoerd wordt en de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en elektriciteitsvraag op die tijdstippen vooraleerst van belang. De functie moet immers niet verschoven worden indien verschuiving naar verwachting geen verbetering in de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag oplevert. Vervolgens is het tijdstip *waarheen* de functie naar verschoven kan worden van belang. Bij het 'in het echt' uitvoeren van de verschuiving zal dit tijdstip waarschijnlijk op basis van meetgegevens door het regelsysteem bepaald worden. Bij het benaderen van de verschuiving wordt op basis van de gemiddelde verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en elektriciteitsvraag een geschikt tijdstip geprikt.

7.5.1 Uitgangspositie verschuiving

De vaatwasser kent pieken in het elektriciteitsgebruik rond negen uur morgens (lage piek), zeven uur 's avonds (gemiddeld hoge piek) en na tien uur 's avonds (hoge piek) (gegevens ontleend aan SKOKA, 1992). Deze gebruikspieken van de vaatwasser vallen op momenten waarop een huishouden ook relatief veel andere elektrische apparatuur gebruikt. De gebruikspiek ochtends valt samen met de warmtepiek voor het opwarmen van de woning. De vraag naar warmte voor warm tapwater (de piekvraag die normaal ook rond deze tijd optreedt), is door het vroegd opwarmen van de buffer (zie Paragraaf 7.4.3 en Appendix E) naar het eind van de nacht verschoven.

Aan de hand van deze gegevens is te verwachten dat verschuiving van de elektriciteitsvraag *van* alledrie deze tijdstippen de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en de elektriciteitsvraag kan verbeteren.

7.5.2 Eindpunt verschuiving

Bij het bepalen waar de elektriciteitsvraag *heen* verschoven moet worden zijn twee aspecten van belang: ten eerste moet de functie op tijd uitgevoerd zijn en ten tweede moet de verschuiving de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en elektriciteitsvraag verbeteren.

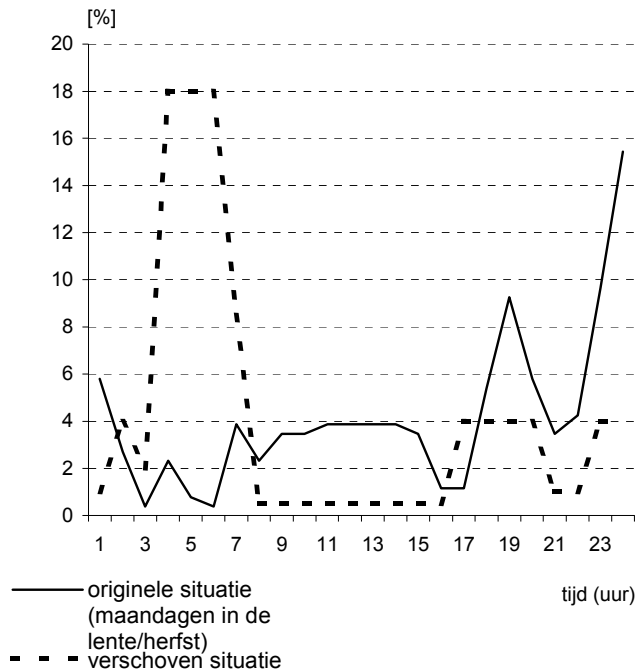
Er wordt verondersteld dat de afwas meestal 's avonds laat in de machine gezet wordt en 's ochtends voor het ontbijt schoon moet zijn. De functie vaatwassen kan vanuit de gebruikers aan de hand van deze veronderstelling op elk tijdstip gedurende de late avond en nacht uitgevoerd worden. Aan het eind van de nacht is er door het opwarmen van de warmtebuffer en het grotendeels ontbreken van elektriciteitsvraag een overschot aan elektriciteitsaanbod. Een verschuiving van het gebruik van de vaatwasser naar het eind van de nacht verbetert de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en de elektriciteitsvraag.

De verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en -vraag komt dichterbij de streefwaarde van één te liggen als de elektriciteitsvraag naar het eind van de nacht verschoven wordt. Een totale verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon naar dit tijdstip is echter niet realistisch. De ver-

¹¹ Hoewel in het elektriciteitsvraagmodel drie seizoenen gebruikt worden wordt de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag uitgesplitst naar vier seizoenen berekend. De warmtevraag van de huishoudens (en dus het elektriciteitsaanbod) is immers wel verschillend voor de lente en de herfst.

schuiving zal niet altijd uitgevoerd kunnen worden omdat de gebruiker de vaat bijvoorbeeld eerder nodig heeft.

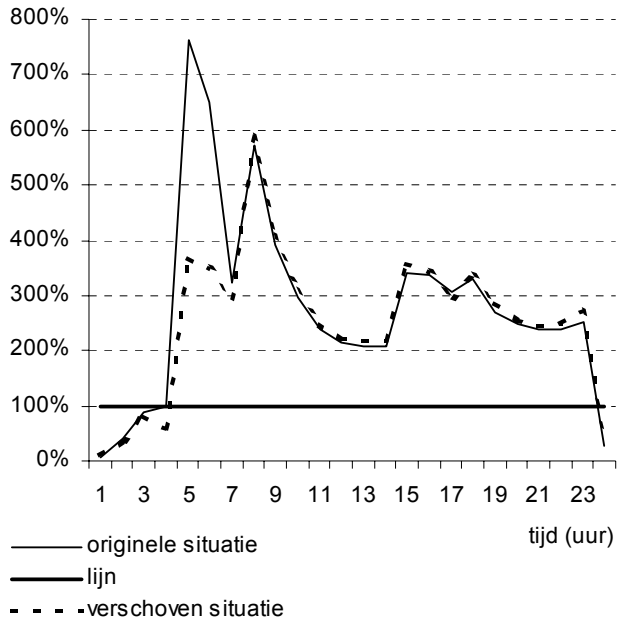
Rekening houdend met de bovenstaande argumenten wordt verondersteld dat de vaatwas grotendeels tussen vier en zes 's nachts gedaan zal worden, maar dat het gebruik van de vaatwasser 's avonds (na het eten) gedeeltelijk niet verschoven zal worden. In Figuur 7.1 hieronder is als voorbeeld het niet verschoven patroon van de vaatwasser voor maandagen in de lente/herfst en het veronderstelde verschoven elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser weergegeven. Het verschoven elektriciteitsvraagpatroon wordt gelijk verondersteld voor alle dagen in de verschillende seizoenen. Het patroon wordt ingevoerd in het elektriciteitsvraagmodel van het huishouden zodat de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en -vraag in zowel de originele als verschoven situatie bepaald kan worden.



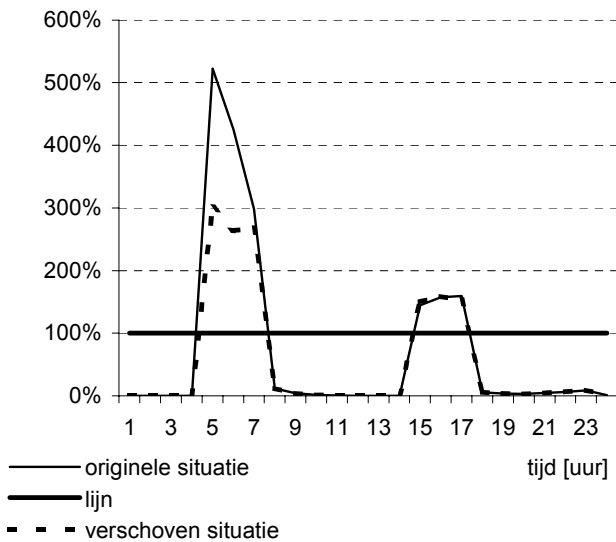
Figuur 7.1 *Verondersteld elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser gezien over de dag in de verschoven situatie*

7.6 Resultaten

In de twee figuren hieronder is het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser voor maandagen in de winter en zomer weergegeven. In de figuren wordt de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag voor zowel de oorspronkelijke als verschoven situatie vergeleken met een lijn die de streefsituatie aangeeft. Op deze rechte lijn is de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag gelijk aan één. Boven de lijn is het elektriciteitsaanbod (een constante maal de warmtevraag) groter dan de elektriciteitsvraag. Figuren die het effect van de verschuiving voor de overige soorten dagen in het jaar weergeven staan in Appendix E.



Figuur 7.2 *Resultaat van verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser op maandagen in de winter*



Figuur 7.3 *Resultaat van verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser op maandagen in de zomer*

Uit de twee figuren en de overige figuren in Appendix E, kan geconcludeerd worden dat de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon een positief effect heeft op de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en de elektriciteitsvraag over de dag.

Bij het effect van de verschuiving kunnen de volgende opmerkingen gemaakt worden:

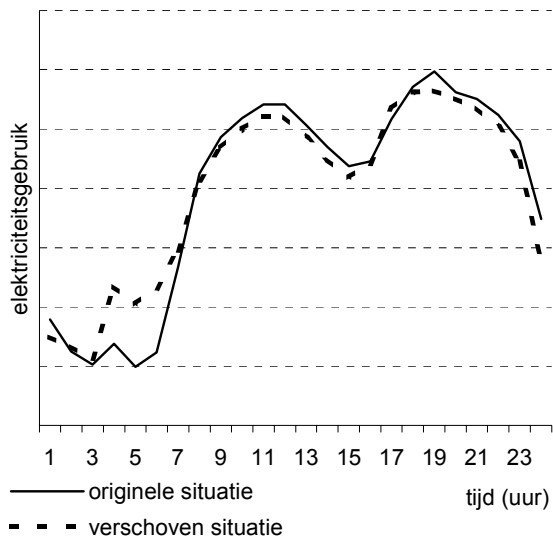
- De verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en de elektriciteitsvraag is sterk seizoensafhankelijk omdat 's ochtends in de winter en de lente het huis eerst opgewarmd moet worden. De vorm van deze opwarmpiek gemiddeld over het jaar staat beschreven in Appendix D. In de zomer en de herfst ontbreekt de huisopwarmpiek. Het bestaan van de piek heeft

geen invloed op het effect van de voorgestelde verschuiving omdat het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser niet naar de ochtend maar naar het eind van de nacht verschoven wordt

- Uit de figuren uit Appendix E blijkt dat de vorm van de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag niet sterk verschilt voor de verschillende dagen in de week.
- Bij het bepalen van het tijdstip van opwarmen van de buffer is zowel rekening gehouden met de vraag naar ruimteverwarming als met het maximale thermisch vermogen dat de installatie zonder inzet van een piekbrander kan leveren (zie Appendix D). Om deze redenen en omdat op de tijdstippen van opwarmen het elektriciteitsaanbod groter is dan de elektriciteitsvraag, kan het in de verschoven situatie gevraagde elektrische vermogen inderdaad door de microwarmtekrachtinstallatie geleverd worden¹². Een aantekening is hierbij wel dat de gemiddelde situatie van een gezin gemodelleerd is waardoor de scherpe vermogensvraagpieken van de vaatwasser afgezwakt zijn (zie Paragraaf 7.4) De echte pieken in de vermogensvraag van de vaatwasser kunnen, omdat deze vermogensvraag sowieso hoger is dan het maximaal te leveren elektrisch vermogen van de installatie, niet volledig door de microwarmtekrachtinstallatie geleverd worden. De verbetering van de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag ontstaan door de verschuiving geeft dus slechts zover mogelijk de reële situatie weer.
- Het feit dat de piek in de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag in de nacht sterk vermindert terwijl de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag op andere tijdstippen op de dag vrijwel niet verandert, is te verklaren. In de figuren die het effect van de verschuiving weergeven wordt de *verhouding* tussen het elektriciteitsaanbod en -vraag in zowel de originele als verschoven situatie weergegeven. De figuren geven dus een *relatieve* situatie weer. De tijdstippen waarop de vaatwasser in de originele situatie gebruikt wordt zijn tijdstippen waarop veel elektrische apparatuur gebruikt wordt. Dit in combinatie met het feit dat de elektriciteitsvraag van de vaatwasser over een langere periode over de dag 'uitgesmeerd' (zie Paragraaf 7.4) is heeft tot gevolg dat de relatieve veranderingen in de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag klein zijn¹³. In het figuur hieronder is het elektriciteitsvraagpatroon van een gezin op maandagen in de winter in zowel de originele als verschoven situatie weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat hoewel het wegschuiven van de elektriciteitsvraag van de vaatwasser in de relatieve figuren niet goed zichtbaar is de verschuiving in praktijk wel optreedt.

¹² Indien niet aan deze voorwaarden voldaan wordt, kan het zo zijn dat, hoewel de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag groter dan één is, dat de benodigde elektriciteit toch niet door de installatie geleverd kan worden. In deze gevallen is het benodigde elektrische vermogen groter dan het maximale vermogen van de installatie. De installatie kan wel door de inzet van een piekbrander wel een hoger thermisch vermogen leveren.

¹³ Op bepaalde tijdstippen in de zomer en de herfst is de warmtevraag van het huishouden (en dus ook het elektriciteitsaanbod) gelijk aan nul. Op deze tijdstippen heeft een verandering van de elektriciteitsvraag van het huishouden geen effect op de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag. Deze verhouding blijft op deze tijdstippen gelijk aan nul.



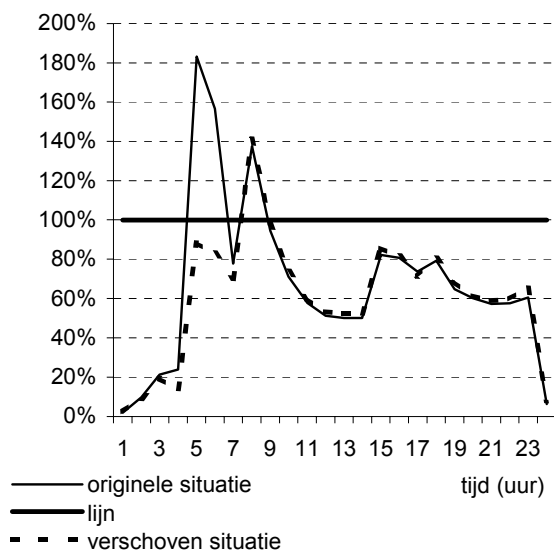
Figuur 7.4 *Het elektriciteitsgebruik voor een gezin op maandagen in de winter: originele en verschoven situatie*

7.7 Evaluatie gemaakte keuzes

In de inleiding van deze casestudie zijn de verschillende uitgangspunten van deze studie vastgelegd. Deze initieel gemaakte keuzes kunnen echter een grote invloed hebben. Om een indruk van het mogelijke effect van één van deze keuzes te geven wordt hieronder het effect van de keuze voor een brandstofcel aangedreven warmtekrachtinstallatie kort behandeld aan de hand van een voorbeeld. Het effect van overige te maken keuzes (de keuze voor een andere gemodelleerde verschuiving, de keuze voor een ander type huishouden of woning) is door de variabiliteit aan mogelijkheden niet kort te beschrijven.

7.7.1 Effect van de keuze voor een brandstofcellen aangedreven microwarmtekrachtinstallatie

Hieronder is voor maandagen in de winter het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser beschreven in het geval dat het huishouden gebruik maakt van een Stirling motor aangedreven microwarmtekrachtinstallatie. Door het onderstaande figuur te vergelijken met de figuren in de paragraaf resultaten kan een indruk van het effect van de keuze voor een brandstofcellen aangedreven microwarmtekrachtinstallatie verkregen worden.



Figuur 7.5 Resultaat van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser op maandagen in de winter in het geval dat het huishouden een Stirling motor aangedreven microwarmtekrachtinstallatie gebruikt.

Uit het figuur blijkt dat de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en -vraag over de dag voor een Stirling motor aangedreven microwarmtekrachtinstallatie duidelijk verschilt van de verhouding voor een brandstofcellen aangedreven microwarmtekrachtinstallatie. Het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser is bij het gebruik van een Stirling motor aangedreven installatie ook sterk verschillend van het effect indien een brandstofcel aangedreven microwarmtekrachtinstallatie gebruikt wordt. Indien een Stirlingmotor aangedreven microwarmtekrachtinstallatie gebruikt wordt komt de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag (in ieder geval voor maandagen in de winter) verder van de streefwaarde van één af te liggen. Voor een met brandstofcellen aangedreven microwarmtekrachtinstallatie is dit veel minder het geval. Bij een brandstofcellaangedreven installatie wordt de piek in elektriciteitsaanbod verminderd zonder dat er een elektriciteitstekort ontstaat.

Uit het voorbeeld van deze wintermaandag blijkt dat het effect van verschuivingen voor beide installaties sterk kan verschillen. Het is goed mogelijk dat voor een brandstofcel aangedreven installatie andere verschuivingen van het elektriciteitsvraagpatroon een positief effect hebben dan voor een Stirlingmotor aangedreven installatie.

7.8 Conclusies en aanbevelingen

Uit de casestudie blijkt dat door de elektriciteitsvraag van het huishouden gedragsmatig te verschuiven de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod van de installatie en de elektriciteitsvraag van de gebruiker dichter naar de streefsituatie van één gebracht kan worden. Op de moment dat deze verhouding gelijk is aan één, hoeft er geen elektriciteit met het net uitgewisseld te worden.

De resultaten van de uitgewerkte verschuiving blijken seizoensafhankelijk, maar niet afhankelijk van de dagen in de week te zijn. In Appendix E worden voor alle combinaties 'dag in de week' en 'seizoen' de resultaten weergegeven.

Bij de resultaten valt op dat het schuiven van de elektriciteitsvraag van de vaatwasser naar een tijdstip meer effect lijkt te hebben dan het wegschuiven van de elektriciteitsvraag. Dit wordt veroorzaakt doordat het schuiven van tijdstippen met een hoge totale elektriciteitsvraag naar

tijdstippen met een lage totale elektriciteitsvraag *relatief* weergegeven is. Verschuiving van een bepaalde elektriciteitsvraag *naar* een tijdstip waarop de totale elektriciteitsvraag van het huishouden (zeer) laag is, heeft meer effect op de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag dan de verschuiving van dezelfde elektriciteitsvraag *van* een tijdstip waarop de totale elektriciteitsvraag van het huishouden relatief hoog is.

Uit de zeer korte evaluatie van gemaakte keuzes bleek dat een keus voor een ander type micro-warmtekrachtinstallatie een grote invloed heeft op het effect van de verschuiving.

De aanbeveling is dan ook om voor meerdere combinaties type huishouden/type woning/type microwarmtekrachtinstallaties het effect van verschillende kansrijke verschuivingen te onderzoeken. Een aandachtspunt bij dit nader onderzoek zal de manier van weergeven en kwantificeren van de effecten van de verschuivingen moeten zijn. De manier van weergeven van resultaten die in deze casestudie gebruikt is, laat duidelijk zien dat verschuiving van de elektriciteitsvraag effect heeft. De grootte van het effect is echter door de manier van weergeven moeilijk te bepalen.

Bij de bepaling van het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser bleek dat gegevens over het elektriciteitsvraagpatroon van verschillende typen huishouden moeilijk te verkrijgen waren. Een aanvullende aanbeveling is dan ook het elektriciteitsvraagpatroon van huishouden, liefst in combinatie met de sociale kenmerken van het huishouden, nader te onderzoeken.

BRONNEN

- Albers, R. (1988); De huishoudelijke verlichting verlicht.
- Albers, R.; Blok, K.; Scholten, A.H. (1988); Zicht op licht, de betekening van energiezuinige verlichting voor het huishoudelijk elektriciteitsverbruik, SWOKA,
- Anonymus, (jaartal onbekend); A domestic electrical end-use measurement campaign in France, Commission of the European Community, Program SAVE.
- Anonymus, (1988); Verlichting in de huishoudens, Samenwerkende elektriciteitsproductiebedrijven (EP).
- Anonymus, (1990); Elektriciteitsverbruik door televisies in Nederlandse huishoudens in 1989, Samenwerkende elektriciteitsproductiebedrijven (SEP).
- Bakker, E.J.; Zondag, H.A.; Strootman, K.J.; Visscher, K. (2000); Warmtevraagpatronen voor ruimteverwarming van bestaande woningtypen in Nederland, ECN-DEGO memo-00-033, Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten, December 2000.
- Basisonderzoek Elektriciteitsverbruik Kleinverbruikers (1998); uitgave van EnergieNed.
- Dieperink, C.; Brand, I.M.; Vermeulen, W.J.V. (2001); Diffusie van energiebesparende innovaties in industrie en gebouwde omgeving, een aanzet voor een omvattend analysekader, in: Milieu, tijdschrift voor milieukunde, jaargang 16, nummer 2, Boom tijdschriften.
- Jelsma, J. (1999); Huishoudelijk energiegebruik: van beter gedrag naar beter ontwerpen, een aanzet tot een integrale benadering, onderzoek uitgevoerd in opdracht van Novem, Centrum voor studies van wetenschap, technologie en samenleving, Universiteit Twente.
- NEN, Nederlandse norm NEN 5128 (December 1998); Energieprestatie van woningen en woongebouwen-bepalingsmethode. Nederland Normalisatie Instituut.
- Menkveld, M.; Beeldman, M. (1997); Substitutie van elektriciteit bij wasmachines en drogers, energetische en kostentechnische beschouwing, ECN rapport ECN-I--97-041, November 1997.
- Siderius, P.J.S. (1995); Elektriciteitsverbruik gezinshuishoudens 1994 met nadruk op stand-by verbruik, Van Holsteijn en Kemna, 1995.
- Uitzinger, M.T.; Sprengers, M.; Benschop, J.M.; Baren, L. van(1995); Telemeting en monitoring bij huishoudens, deel 1: monitoring, 1995.
- Biert, T. van; Groot, P.A. de (1989); Verlichting in de huishoudens, Samenwerkende elektriciteitsproducenten (SEP), 1989.
- Dijk H.M.L van; Siderius, P.J.S. (1992); Gebruiksregistratie van een aantal huishoudelijke apparaten, SWOKA Instituut voor consumentenonderzoek, 1992.

Wolsink, M. (1986); Windenergie en direct huishoudelijk elektriciteitsgebruik, in tijdschrift voor huishoudkunde, april 1986.

APPENDIX A: OPBOUW ELEKTRICITEITSVRAAGMODEL

In het elektriciteitsvraagmodel wordt aan de hand van gegevens uit literatuur en schattingen het elektriciteitsgebruik per functie van een bepaald type huishouden op een bepaalde soort dag in het jaar geschat.

De volgende typen huishoudens zijn gedefinieerd:

- Het (niet bestaande) gemiddeld huishouden.
- Tweeoudergezin met twee jonge kinderen. Hierbij is verondersteld dat één van de ouders overdag thuis is.
- Bovengemiddeld verdienend tweeverdienerhuishouden. Hierbij is verondersteld dat op werkdagen in het algemeen niemand thuis is.

In de onderstaande tabel worden de gebruikte hoofd- en deelfuncties genoemd. De functies zijn onderverdeeld als de patronen van de 'deelfuncties' niet met elkaar overeenkomen en de verschillende deelfuncties een redelijk grote elektriciteitsvraag hebben.

Tabel A1 *Functies gebruikt in het elektriciteitsvraagmodel*

hoofdfunctie	deelfunctie
binnenklimaat-beheer en tapwater	pomp ketel airconditioning ventilatie
warm water	aanrechtboiler elektrische (grote) boiler
koelen	vriezen koelen
koken	elektrisch koken
reiniging	wassen drogen vaatwassen stofzuigen
verlichting	verlichting algemeen veiligheids-verlichting
overig	tv/audio waterbed restverbruik

In het model is het jaar gesplitst in drie verschillende seizoenen: de lente/herfst, de zomer en de winter. Voor deze indeling is gekozen vanwege de daglengte (de langste dag valt in de zomer en de kortste dag valt in de winter) en de temperatuurverschillen tussen deze seizoenen. De weken in deze 'seizoenen' zijn verder onderverdeeld in verschillende soorten weekdays, namelijk maandagen, dinsdagen tot en met vrijdagen en weekenddagen.

Voor de bovengenoemde typen huishoudens op de verschillende soorten dagen is per (deel)functie de elektriciteitsvraag met behulp van gegevens uit literatuur en eigen schattingen bepaald. Hierbij is begonnen met het patroon van het gemiddelde huishouden. Over dit patroon is literatuur, hoewel vaak verouderd of van toepassing op Franse huishoudens, aanwezig (Van Dijk and Siderius, 1992), (Anonymus), (BEK, 1998), (Van Biert and de Groot, 1989), (Anonymus, 1988), (Albers et al., 1988), (Uitzinger et al., 1995), (Siderius, 1995), (Albers, 1988), (Anonymus, 1990). Gegevens uit de literatuur zijn om een modern Nederlands gemiddeld huishouden te kunnen benaderen met behulp van schattingen aangepast. Hiervoor zijn veel aannames gedaan. Het aldus geconstrueerde patroon van het gemiddelde huishouden is vergeleken

met een bestaand patroon van 'het Nederlandse huishouden'. Met behulp van deze vergelijking is de som van aannames getest. Vanuit dit 'gemiddelde patroon' zijn aan de hand van aannames patronen voor het gezin en het tweeverdienerhuishouden geconstrueerd. Hierbij is aangenomen dat bij het gezin op werkdagen overdag altijd iemand thuis is terwijl voor het tweeverdienerhuishouden verondersteld wordt dat op werkdagen niemand overdag aanwezig is.

Voor de totale elektriciteitsvraag van de verschillende huishoudens is het volgende verondersteld:

- Het gemiddelde huishouden kent het elektriciteitsverbruik van het (gemiddelde) Nederlandse huishouden als genoemd in BEK (1998).
- Het gezin kent een elektriciteitsgebruik van een gemiddeld huishouden van vier personen als genoemd in BEK (1998).
- Het tweeverdienerhuishouden kent het elektriciteitsgebruik van een huishouden met een hoog inkomen (van f6000,- tot f7000 netto maandinkomen) als genoemd in BEK (1998).

Voor het elektriciteitsgebruik per deelfunctie/apparaat zijn voor de verschillende huishoudens de volgende aannames gedaan:

- Voor het gemiddelde huishouden is verondersteld dat het huishouden de gemiddelde hoeveelheid apparatuur bezit en deze apparatuur ook gemiddeld gebruikt. Voor het gemiddelde huishouden is het elektriciteitsgebruik per functie uitgerekend door de gemiddelde penetratiegraad per Nederlands huishouden te vermenigvuldigen met het elektriciteitsgebruik van het gemiddelde apparaat (beide uit BEK, 1998).
- Voor het gezin is enerzijds geschat of het gezin bepaalde apparatuur wel of niet bezit. De penetratiegraad is in dit geval op nul of op één gesteld. Anderzijds is voor andere apparaten ingeschat of het gezin meer of minder gebruik maakt van deze apparatuur dan het gemiddelde huishouden. Het resulterende hogere of lagere elektriciteitsgebruik van deze apparatuur door het gezin is in het model verwerkt door de penetratiegraad van de apparatuur aan te passen¹⁴.
- Voor het tweeverdienerhuishouden is enerzijds geschat of het huishouden bepaalde apparatuur wel of niet bezit. De penetratiegraad is in dit geval op nul of op één gesteld. Anderzijds is voor andere apparaten ingeschat of het tweeverdienerhuishouden meer of minder gebruik maakt van deze apparatuur dan het gemiddelde huishouden. Het resulterende hogere of lagere elektriciteitsgebruik van deze apparatuur door het gezin is in het model verwerkt door de penetratiegraad van de apparatuur aan te passen.

Omdat de patronen van de drie gebruikte typen huishouden door de verschillende levensstijlen van deze huishoudens sterk van elkaar verschillen, is het aannemelijk dat er voor de verschillende huishoudens verschillende knelpunten tussen vraag en aanbod van elektriciteit en warmte naar voren komen.

¹⁴ Eigenlijk neemt niet de penetratiegraad maar het gebruik van de apparatuur toe- of af. Het aanpassen van de penetratiegraad in het model is hier slechts een manier om de toe- of afname in het gebruik in de praktijk te modelleren.

APPENDIX B: OPBOUW WARMTEVRAAGMODEL

In deze appendix is het warmtevraagmodel voor ruimteverwarming beschreven.

In (Bakker et al., 2000) is per kwartier over het KNMI referentiejaar de warmtevraag van vijf verschillende typen woningen berekend in kader van het microwarmtekrachtproject. Bij de berekeningen is uitgegaan van bestaande woningbouw omdat het besparingspotentieel van een microwarmtekrachtinstallatie bij deze woningen door de hogere warmtevraag groter is dan bij nieuwbouwwoningen.

De warmtevraag van de volgende typen woningen is in (Bakker, 2000) berekend:

- galerijwoning
- tussenwoning
- kopwoning
- twee-onder-een-kap woning
- vrijstaande woning.

Voor het warmtevraagmodel zijn de uitkomsten van deze berekeningen bewerkt zodat de warmtevraag per uur per type dag bepaald kon worden voor de verschillende woningen.

Voor het warmtevraagmodel is het jaar gesplitst in de vier jaargetijden. De jaargetijden zijn benaderd met gegevens uit maart (lente), juni (zomer), september (herfst) en december (winter). Voor deze benadering is aangesloten bij de indeling in seizoenen die bij het elektriciteitsvraagmodel gebruikt is. De weken in de jaargetijden zijn verder onderverdeeld in werk- en weekenddagen.

APPENDIX C: OPBOUW TAPWATERMODEL

In deze appendix wordt het tapwatermodel beschreven. De kwantitatieve vraag naar tapwater is gebaseerd op (NEN, 1998). De vorm van de warmtevraag voor tapwater is afhankelijk van de grootte en de manier van opwarmen van de warmtebuffer.

Bij een grote warmtebuffer telt de vraag naar tapwater grotendeels alleen cumulatief mee voor de warmtevraag. Bij een kleine buffer is de warmtevraag voor tapwater veel meer afhankelijk van de tijden op de dag dat inderdaad tapwater gevraagd wordt. In het model kan het tijdstip van opwarmen van de buffer voor de bereiding van tapwater gevarieerd worden. In de studie wordt uitgegaan van een grote warmtebuffer die opgewarmd wordt op tijdstippen dat de vraag naar ruimteverwarming relatief laag en de vraag naar elektriciteit relatief hoog is.

Voor de bepaling van het effect van de verschuiving wordt van dit opwarmregime uitgegaan. De toepassing van dit regime betekent voor een door brandstofcellen aangedreven warmtekracht installatie dat de buffer tussen vier en zeven uur 's ochtends en tussen twee en vijf uur 's middags opgewarmd wordt.

Bij de toepassing van een door een Stirlingmotor aangedreven microwarmtekracht installatie betekent dit dat de buffer tussen zes en zeven uur 's ochtends en vier en vijf uur 's middags opgewarmd wordt. De berekening van deze tijdstippen en opwarmduur van de buffer wordt onderbouwd in Appendix D.

APPENDIX D: BEPALING TIJDSTIP OPWARMEN WARMTEBUFFER

D1 Technische beperkingen

Een microwarmtekracht installatie kan maximaal een vermogen van 1 kW_{elektrisch} leveren. Voor een Stirlingmotor aangedreven microwarmtekrachtinstallatie betekent dit dat het maximaal geleverde thermisch vermogen gelijk is aan 7,75 kW. Een brandstofcel aangedreven microwarmtekracht installatie kan maximaal ongeveer 1,8 kW_{thermisch} leveren. Een hogere warmtevraag wordt opgelost door middel van warmte die eerder in de buffer opgeslagen is. Ook kan een hoger thermisch vermogen geleverd worden door het inzetten van een piekbrander (tot ongeveer 24 kW_{thermisch}). Het rendement van het leveren van warmte door middel van een piekbrander is lager dan het rendement bij leveren van de warmte door de warmtekrachtinstallatie.

D2 Tijdstip opwarming buffer voor tapwater

Een handige initiële veronderstelling kan zijn dat de vraag voor de opwarming van tapwater constant over de dag verdeeld is. De warmte die op het moment van de productie van tapwater niet gebruikt wordt, wordt opgeslagen in de buffer. Deze veronderstelling is niet realistisch om twee redenen:

- Er wordt geen rekening gehouden met de tijdstippen waarop de hoogste tapwatervraag optreedt. 's ochtends en 's avonds is de vraag naar warm tapwater voor veel huishoudens hoog omdat er op deze tijdstippen gedoucht wordt.
- Het opwarmen van het tapwater valt vaak samen met tijdstippen waarop de vraag naar warmte voor ruimteverwarming hoog is. De piekbrander moet hierdoor vaker ingezet worden waardoor het rendement van de totale installatie afneemt.

Om deze redenen wordt verondersteld dat de buffer zoveel mogelijk opgewarmd wordt op de tijdstippen dat de vraag naar warmte voor ruimteverwarming laag is. Een aanvullende eis is dat de buffer 's ochtends en 's avonds gevuld moet zijn.

De bepaling van het tijdstip van het opwarmen van de buffer verloopt in twee stappen. Eerst wordt aan de hand van de tapwatervraag, de grootte van de buffer en het maximaal geleverde thermisch vermogen de benodigde duur van het opwarmen bepaald 's. Vervolgens zal aan de hand van de gemiddelde warmtevraag voor ruimteverwarming het tijdstip bepaald worden waarop de buffer opgewarmd zal worden. Allebei de stappen worden zowel voor de Stirlingmotor aangedreven installatie als voor de brandstofcel aangedreven installatie uitgevoerd.

D3 Bepaling tijdsduur opwarming buffer

Stirlingmotor aangedreven warmtekracht installatie

Verondersteld wordt dat de buffer 75 liter water bevat dat opgewarmd moet worden van 10 tot 70 graden Celsius. De energie die opgenomen wordt door het water in de buffer is gelijk aan massa van het water maal de soortelijke warmte maal de benodigde temperatuur verandering.

In formulevorm:

$$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

waarin:

ΔQ = opgenomen warmte (J)

m = massa (kg)

c = soortelijke warmte (J · kg⁻¹ · K⁻¹)

ΔT = temperatuursverandering water (K)

De soortelijke warmte van water is gelijk aan 4,18 · 10³ J · kg⁻¹ · K⁻¹.

De opgenomen warmte bij het in één keer opwarmen kan door het toepassen van deze formule bepaald worden op 18810 kJ. Een Stirlingmotor aangedreven microwarmtekrachtinstallatie kan maximaal een thermisch vermogen van 7,75 kW leveren zonder dat de inzet van een piekbrander noodzakelijk is. Omgerekend kan de installatie zonder inzet van de piekbrander per uur 27900 kJ leveren.

Eén keer opwarmen van de buffer kost bij de toepassen van een Stirling motor aangedreven installatie 0,67 uur (18810/27900).

De vraag naar warm tapwater op een dag is gelijk aan 31750 kJ per dag (afgeleid aan de hand van NEN, 1998). Om aan de vraag naar tapwater te voldoen moet de buffer 1,7 (31750/18810) keer per dag opgewarmd worden. Het opwarmen van de buffer moet, omdat overtollige warmte niet gebruikt of opgeslagen kan worden, gezien over de dag in twee keer geschieden.

Bij het toepassen van Stirling motor aangedreven microwarmtekracht installatie moet de buffer om aan de vraag naar tapwater te voldoen 1,1 ($0,67 \times 1,7$) uur opgewarmd worden.

Brandstofcel aangedreven warmtekracht installatie

Het opwarmen van de warmtebuffer kost 18810 kJ, zie hierboven. Een brandstofcel aangedreven microwarmtekracht installatie kan maximaal een thermisch vermogen van ongeveer 1,86 kW leveren zonder dat de inzet van een piekbrander noodzakelijk is. Omgerekend kan de installatie zonder inzet van de piekbrander per uur 6696 kJ leveren. Eén keer opwarmen van de buffer kost bij de toepassen van een brandstofcel aangedreven installatie 2,8 uur (18810/6696).

De vraag naar warm tapwater op een dag is gelijk aan 31750 kJ per dag (afgeleid aan de hand van NEN, 1998). Om aan de vraag naar tapwater te voldoen moet de buffer 1,7 (31750/18810) keer per dag opgewarmd worden. Het opwarmen van de buffer moet, omdat overtollige warmte niet gebruikt of opgeslagen kan worden, gezien over de dag in twee keer geschieden.

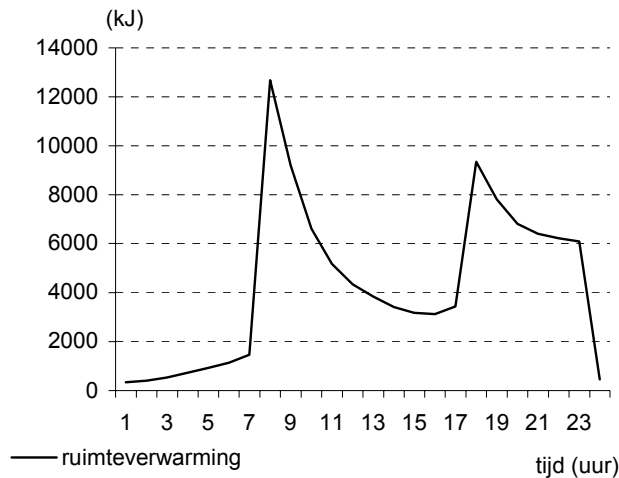
Bij het toepassen van Stirling motor aangedreven microwarmtekracht installatie moet de buffer om aan de vraag naar tapwater te voldoen 4,8 ($2,8 \times 1,7$) uur opgewarmd worden.

D4 Bepaling tijdstip opwarming buffer

De veronderstelling is dat de buffer opgewarmd wordt op tijdstippen waarop de vraag naar warmte voor ruimteverwarming relatief laag is. Ook moet aan de aanvullende eis voldaan zijn dat de buffer 's ochtends en 's avonds gevuld moet zijn zodat op deze tijdstippen het tapwater gebruikt kan worden om te douchen of te baden.

Om de tijdstippen te bepalen waarop de buffer het best gevuld kan worden, is eerst het gemiddelde energiegebruik voor ruimteverwarming over het jaar bepaald (afgeleid uit Bakker et al., 2000). Dit energiegebruik is hieronder als grafiek aangegeven.

Met behulp van het figuur kan het optimale tijdstip van het opwarmen van de buffer bij benadering bepaald worden. Voor een meer optimale bepaling moet het tijdstip van het opwarmen van de buffer afgestemd worden op de vraag naar ruimteverwarming in het betreffende seizoen. De vraag naar energie voor ruimteverwarming verschilt immers sterk gezien over het jaar.



Figuur D.1 *Verloop van de vraag naar warmte voor ruimteverwarming over de dag gemiddeld over de periode van een jaar*

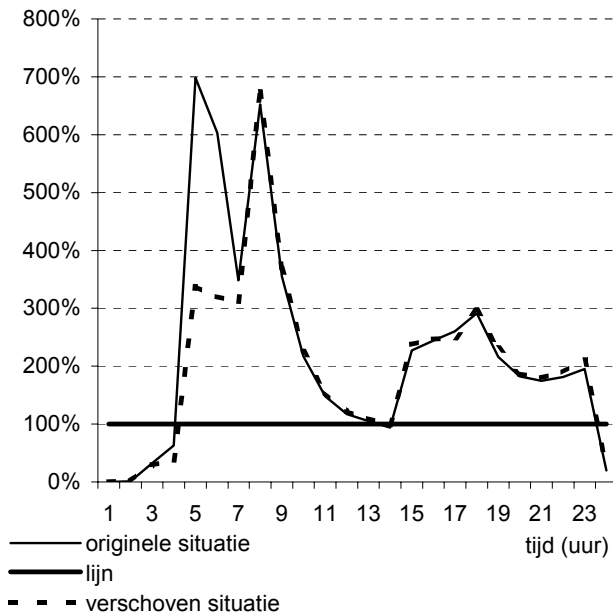
Uit het figuur blijkt dat de warmtevraag voor ruimteverwarming sterk stijgt om zeven uur 's ochtends en vijf uur 's middags. Om aan de vraag naar warmte voor tapwater te voldoen moet de buffer 1,7 keer opgewarmd worden. Dit moet, omdat overtollige warmte niet gebruikt of opgeslagen kan worden, gezien over de dag in twee keer geschieden. Om deze redenen en omdat de buffer 's ochtends en 's avonds gevuld moet zijn wordt er voor gekozen de buffer vlak voor deze tijdstippen op te warmen. De opwarming van de buffer met behulp van een Stirling motor aangedreven installatie kost 0,65 uur per keer dat de buffer deels (dus op het niveau dat noodzakelijk is om in de helft van de tapwatervraag te voorzien) opgewarmd wordt. De opwarming van de buffer met behulp van een brandstofcellen aangedreven installatie kost per keer dat de buffer deels opgewarmd wordt 2,4 uur. Het opwarmen van de buffer met behulp van de Stirling motor aangedreven microwarmte-krachtinstallatie wordt verondersteld om zes uur 's ochtends en om vier uur 's middags te beginnen (vanwege de gebruikte resolutie met tijdstappen van een uur). Het opwarmen van de buffer met behulp van de brandstofcel aangedreven microwarmtekrachtinstallatie wordt verondersteld om vier uur nachts en om twee uur 's middags te beginnen (vanwege de gebruikte resolutie met tijdstappen van een uur).

APPENDIX E: EFFECT VAN DE VERSCHUIVING VAN ELEKTRICITEITSVRAAGPATTERN VAN DE VAATWASSER OP VERSCHILLENDE SOORTEN DAGEN IN HET JAAR

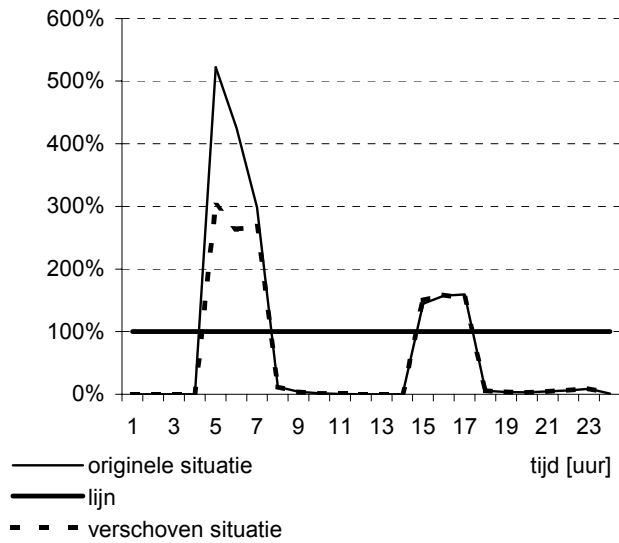
In de volgende figuren is per soort dag aangegeven wat het effect is van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser.

Het effect van de verschuiving is aangegeven per weekday per seizoen. Zo wordt in de eerste vier figuren het effect van de verschuiving gegeven voor maandagen in de verschillende seizoenen. De daarop volgende vier figuren geven het effect voor dinsdagen tot en met vrijdagen weer. De laatste vier figuren geven een beschrijving van het effect voor de vier seizoenen op weekenddagen weer.

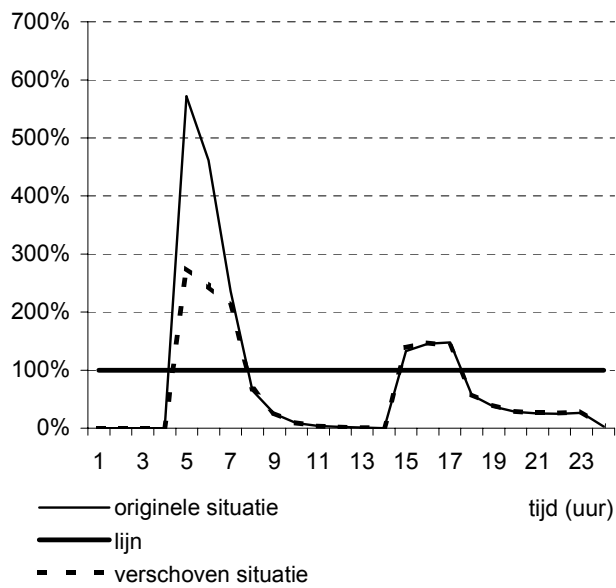
De doorlopende lijn in de figuren geeft de verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en de elektriciteitsvraag in de originele situatie weer. De gestippelde lijn in het figuur geeft de verhouding aan in het geval dat het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser verschoven is. De verhouding tussen het elektriciteitsaanbod en -vraag is ideaal in het geval dat deze verhouding gelijk is aan één. Deze streefsituatie wordt in het figuur weergegeven door de dikgedrukte lijn. Op de tijdstippen dat de doorgetrokken of gestippelde lijn boven de vetgedrukte lijn liggen, is de verhouding elektriciteitsaanbod/elektriciteitsvraag groter dan één, met andere woorden op deze tijdstippen is het elektriciteitsaanbod (een constante maal de warmtevraag van het huishouden) groter dan de -vraag.



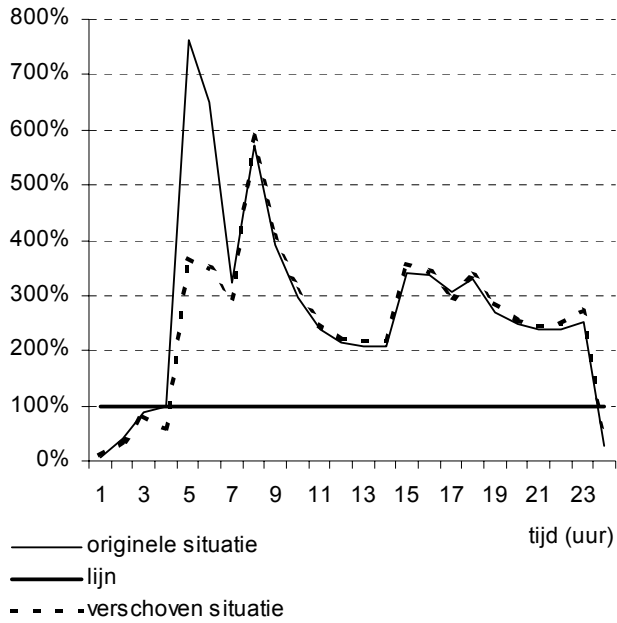
Figuur E.1 *Het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser voor maandagen in de lente*



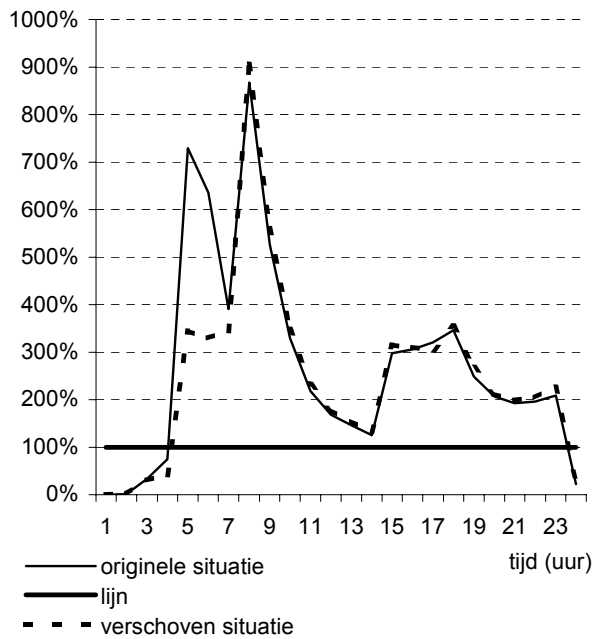
Figuur E.2 *Het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser voor maandagen in de zomer*



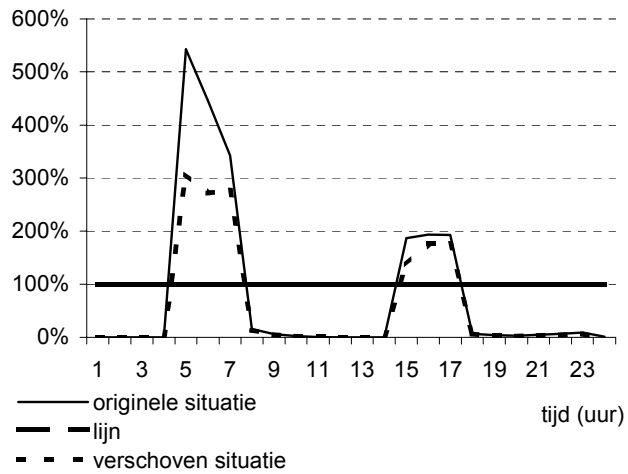
Figuur E.3 *Het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser voor maandagen in de herfst*



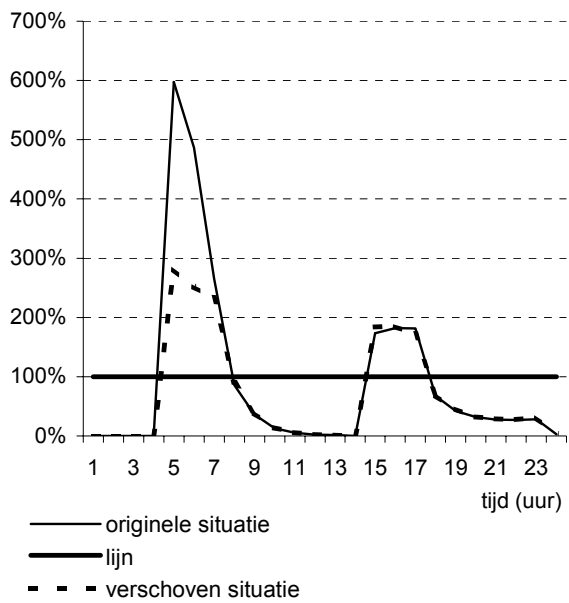
Figuur E.4 *Het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser voor maandagen in de winter*



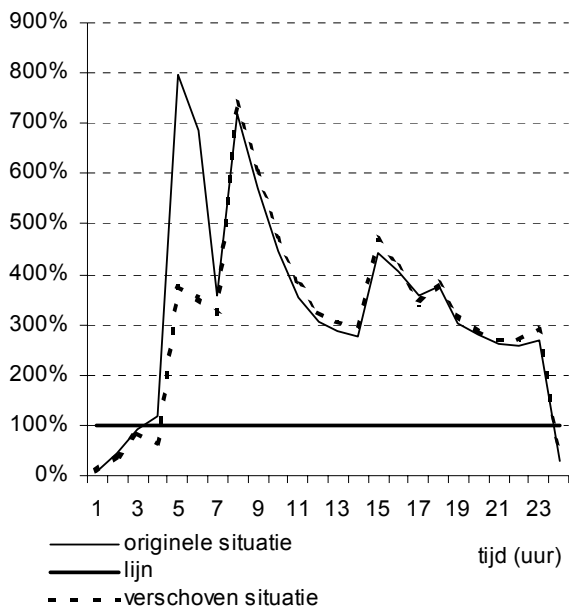
Figuur E.5 *Het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser voor dinsdagen tot en met vrijdagen in de lente*



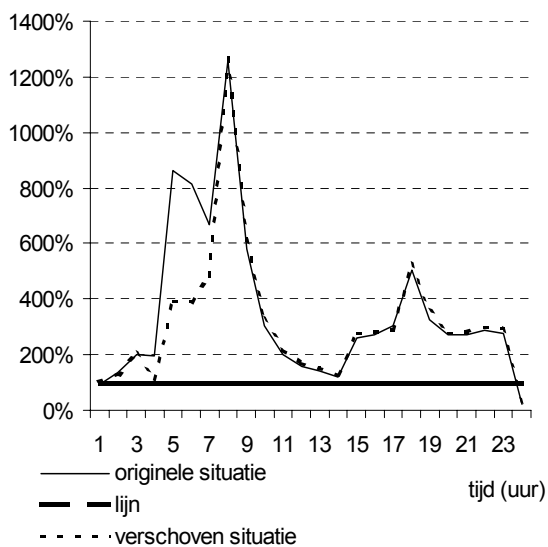
Figuur E.6 *Het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser voor dinsdagen tot en met vrijdagen in de zomer*



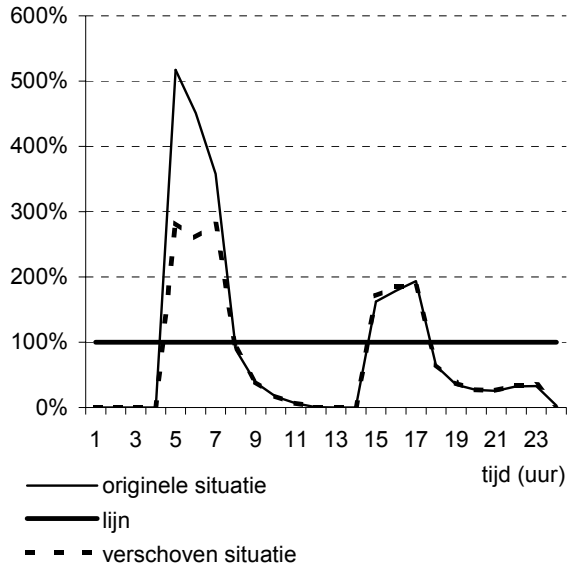
Figuur E.7 *Het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser voor dinsdagen tot en met vrijdagen in de herfst*



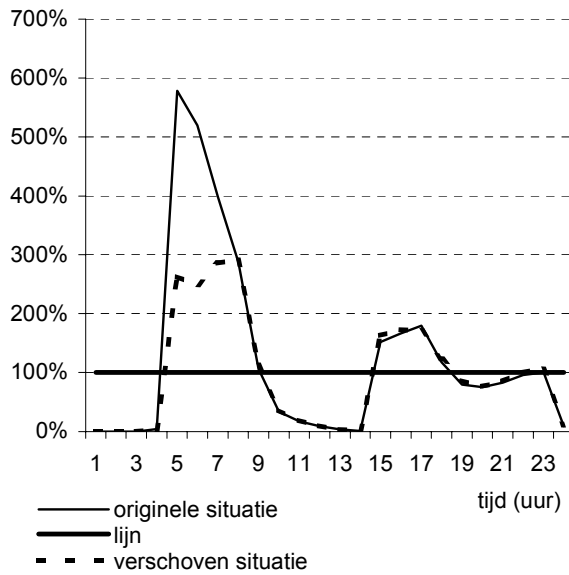
Figuur E.8 *Het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser voor dinsdagen tot en met vrijdagen in de winter*



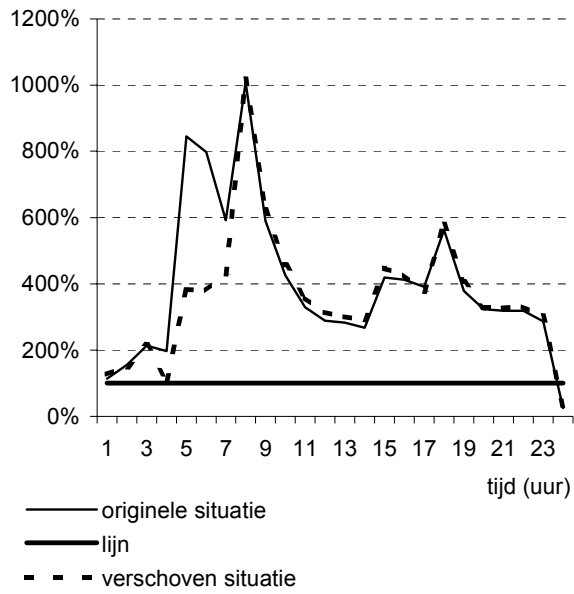
Figuur E.9 *Het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser voor weekenddagen in de lente*



Figuur E.10 *Het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser voor weekenddagen in de zomer*



Figuur E.11 *Het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser voor weekenddagen in de herfst*



Figuur E.12 *Het effect van de verschuiving van het elektriciteitsvraagpatroon van de vaatwasser voor weekenddagen in de winter*