

# Patronen energiegebruik

Verkenning van de mogelijkheden van slimme-meterdata voor analyse



# Patronen energiegebruik

## Verkenning van de mogelijkheden van slimme-meter- data voor analyse

9 december 2022

*Opdrachtgever*



Rijksdienst voor Ondernemend  
Nederland

*Contactpersonen:*

Léon Crommentuijn, Edwin Marquart

*Auteurs:*

Kees Leidelmeijer; ([kees.leidelmeijer@infact.eu](mailto:kees.leidelmeijer@infact.eu))

*IFR-rapportnummer: I 23183*

# Inhoud

1	Inleiding .....	1
2	Verwerking slimme-meterdata .....	3
2.1	Bronbewerking RVO .....	3
2.2	Verwerking gasverbruik .....	4
2.3	Verwerking elektriciteitsgebruik .....	6
3	Patronen verbruik aardgas .....	13
3.1	Vaststellen van patronen.....	13
3.2	Verschillen tussen woningen en huishoudens.....	18
3.3	Patronen en gasverbruik .....	23
4	Patronen verbruik elektriciteit .....	28
4.1	Vaststellen van patronen.....	28
4.2	Verschillen tussen huishoudens en woningen.....	33
4.3	Patronen en elektriciteitsverbruik .....	43
5	Conclusies .....	47
5.1	Verwerking .....	72
5.2	Patronen .....	73
5.3	Relatie patronen en woningen/huishoudens .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>

# 1 Inleiding

In onderzoek waarin wordt gezocht naar de relatie tussen energiemaatregelen en energiegebruik wordt geregeld geconstateerd dat de ‘gewone’ verbruiksgegevens zoals die door netbeheerders in de vorm van standaardjaarverbruiken voor gas en elektriciteit worden geleverd, beperkingen hebben. Soms is er sprake van geaggregeerde data (over verschillende woningen/huishoudens). Vaak is niet duidelijk of het om ‘echte’ verbruiken gaat of om geschatte verbruiken, op welke periode ze betrekking hebben en welke correcties erop zijn toegepast. Ook kunnen er meestal geen gedetailleerde patronen van verbruik (bijvoorbeeld gedurende de dag, in een week of gedurende het jaar) worden geïdentificeerd die met gedrag samenhangen. Dat maakt het lastig om tot goede conclusies te komen.

RVO wil verkennen of het gebruik van slimme-meterdata hier een oplossing voor kan bieden. Om dat te onderzoeken, heeft RVO een enquête laten uitvoeren door IPSOS onder personen die gebruik maken van een slimme meter. Het betreft een selectie van huishoudens die een energieverbruiksmanager hebben van Enelagic, die hebben aangegeven hun slimme-meterdata te willen delen én deel te willen nemen aan een enquête. Het gaat om een steekproef van netto 1.390 respondenten (bruto 1899) van huishoudens die de enquête hebben ingevuld. De slimme-meterdata van de huishoudens die bereid waren hun gegevens te delen, zijn door Enelagic aan RVO geleverd.

Beide bronnen zijn ten behoeve van het voorliggende onderzoek ter beschikking gesteld aan In.Fact.Research met als doel om te verkennen wat er mogelijk is met de slimme-meterdata:

- Kunnen de slimme-meterdata worden verwerkt tot analyseerbare gegevens? De stappen die hierbij nodig zijn, worden beschreven in hoofdstuk 2.
- Zijn er betekenisvolle patronen uit af te leiden? De patronen van gas- en elektriciteitsverbruik die kunnen worden gevonden, zijn weergegeven in hoofdstuk 3.
- Zijn die patronen gerelateerd aan:
  - Energiegebruik;
  - Kenmerken van de bewoners;
  - Kenmerken van woningen (en de uitrusting van die woningen).

Voor deze inhoudelijke analyses zijn twee ‘wegen’ bewandeld:

- vergelijking welke van de gevonden patronen voor elektriciteit en gas worden gebruikt door verschillende typen huishoudens en in verschillende typen woningen (hoofdstuk 3 en 4)

- Analyse van de verschillen tussen woningen en installaties op de resulterende patronen van gecombineerd energiegebruik (hoofdstuk 5).

Het verschil tussen beide 'wegen' is dat bij de eerste wordt gewerkt met 'fixed' patronen van energiegebruik terwijl die bij de tweede dat niet zijn. Verder worden bij de tweede weg patronen van gas/ en elektriciteitsgebruik gecombineerd tot 'energiegebruik' terwijl die bij de eerste weg separaat worden geanalyseerd.

Het is van belang al vooraf een aantal opmerkingen te maken over de beperkingen in dit onderzoek. Allereerst moet worden opgemerkt dat de steekproef niet representatief is voor de Nederlandse bevolking of woningvoorraad. Zo komt het aandeel eigenaar-bewoners in de steekproef uit op 95% terwijl dat in de populatie 57% is. Ook is het aandeel vrijstaande woningen groot, evenals het aandeel energiebewuste huishoudens. De uitkomsten van dit onderzoek kunnen daardoor inhoudelijk niet worden veralgemeend naar de totale woningvoorraad.

In het voorliggende onderzoek is gekozen voor specifieke manieren om de slimme-meterdata te analyseren en zodoende de mogelijkheden te illustreren. Deze manieren van analyseren zijn niet de enig denkbare. Er zijn nog diverse andere mogelijkheden en kansen. Daar komen we in de conclusies op terug.

## 2 Verwerking slimme-meterdata

### 2.1 Bronbewerking RVO

De brongegevens van de slimme-meterdata zijn door RVO in samenspraak met In.Fact.Research bewerkt. Daarbij zijn de volgende stappen doorlopen:

- Toekennen van eindtijd/datum en begintijd/datum van opvolgende meterstanden;
- Filteren en aggregeren van meetgegevens per kwartier over periode 2019/deel 2020 tot leveringen:
  - per uur (24 uur per dag, 365 dagen per jaar)
  - meetjaar 2019.
- Berekenen van leveringen o.b.v. verschillen tussen opvolgende meterstanden, hierbij kunnen worden onderscheiden:
  - Levering gas (m<sup>3</sup>)
  - Levering elektriciteit (kWh) – enkel tarief
  - Levering elektriciteit (kWh) – normaal tarief (dubbele meters)
  - Levering elektriciteit (kWh) – laag tarief (dubbele meters)
  - Teruglevering elektriciteit (kWh)
- Schonen voor registratiefouten:
  - negatieve waarden worden verwijderd (verschil meterstand > 0)
  - correctie voor schijnbaar gelijktijdige leveringen volgens normaal en laag tarief als gevolg van ontbrekende meterstanden bij een van de twee meters waardoor een schijnbare overlap ontstaat.
- Schonen voor uitbijters o.b.v. de suggestie van de leverancier om uit te gaan van het theoretisch maximum. Daarbij worden de volgende vuistregels aangehouden:
  - De maximale hoeveelheid stroom die verbruikt kan worden door kleinverbruik-aansluitingen wordt bepaald door de maximale aansluiting van 3 x 80 Ampère, wat bij 230V maximaal 55 kW kan verdragen. Dus wanneer de meterstand binnen een uur meer dan 55 verschilt, wordt dit als uitbijter gekenmerkt.
  - Het theoretische maximum voor een gasaansluiting is een G25 (aansluitwaarde), waarbij kan worden uitgegaan van een maximum van 40m<sup>3</sup> per uur.

#### Basisbestanden

RVO heeft de verbruiksgegevens – geanonimiseerd – aan In.Fact.Research geleverd. Dit betrof gegevens per uur voor de gehele periode 2019 voor de respondenten die deel uitmaakten van de bruto steekproef voor de enquête. De gegevens waren verdeeld over de volgende deelbestanden :

- Bestand ‘enkeltarief’, waarin gegevens voor 1.766 gebouwen (waarvan sommige slechts met enkele meetpunten) zijn opgenomen, verdeeld over:
  - Verbruik aardgas (levering): 12.227.287 records
  - Elektriciteitsverbruik (levering): 10.916.075 records
  - Elektriciteitsverbruik (teruglevering) 16.736.797 records

- Bestand laagtarief (536 gebouwen, waarvan sommige met slechts enkele meetpunten)
  - Elektriciteitsverbruik (levering): 3.858.845 records
  - Elektriciteitsverbruik (teruglevering) 3.157.483 records
- Bestand normaal tarief (536 gebouwen, waarvan sommige met slechts enkele meetpunten)
  - Elektriciteitsverbruik (levering): 3.854.784 records
  - Elektriciteitsverbruik (teruglevering) 3.096.100 records

## 2.2 Verwerking gasverbruik

Om het gasverbruik te isoleren van het elektriciteitsverbruik zijn de records geselecteerd die voldeden aan de criteria:

- Soortmeter = afname, enkel tarief
- Energievorm = aardgas.

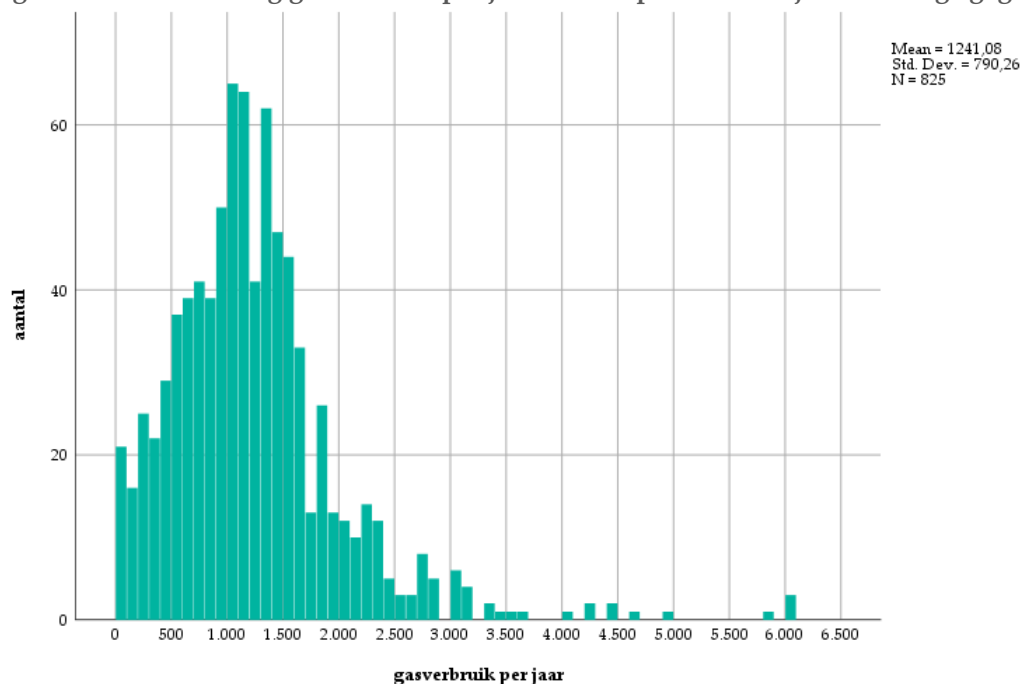
Van alle datapunten zijn alleen de datapunten geselecteerd die betrekking hadden op periodes van 1 uur. Dit betrof 99,9% van de datapunten. In deze selectie komen echter ook 'dubbele' registraties voor: situaties waarin twee verschillende meter-id's aan eenzelfde building-id zijn gekoppeld. Deze verschillende meters geven voor de levering van aardgas echter op dezelfde meetpunten wel eenzelfde waarde. Het aantal meetpunten per meter kan verschillen. Een andere vorm van dubbele registraties in de data is een combinatie van meter-id en building-id waarvoor dezelfde meetpunten twee keer in het bestand zijn opgenomen. Ook hierbij geldt dat de verbruikswaarden op hetzelfde meetpunt identiek zijn. Eenvoudige somming van de verbruiken voor een gebouw leidt in beide vormen van dubbele registraties vanzelfsprekend tot een te hoge inschatting van het verbruik. Dat kan dus twee keer te veel zijn, maar ook een factor drie of vier als beide vormen van dubbele registraties voorkomen bij een bepaald gebouw (wat ook daadwerkelijk voorkomt).

Omdat de dubbele registraties steeds dezelfde verbruikswaarden hadden, is een bestand met unieke building-id's gemaakt door het gemiddelde te nemen van de geobserveerde waarden per meetpunt. Omdat de overlap tussen de dubbele registraties niet steeds volledig was, is op deze manier een bestand gemaakt met het maximale aantal meetpunten per gebouw. In dit bestand resteerden 1.327 unieke gebouwen. Voor 532 hiervan was er een volledige dataset met 8.760 meetpunten (24 uur x 365 dagen). Voor 826 gebouwen (62%) waren minimaal 8.700 meetpunten beschikbaar.

Alleen van de 826 unieke woningen (building\_id's) met 8.700 meetpunten of meer is een (indicatie van het) gasverbruik over 2019 berekend. Bij deze selectie zat nog één woning met een jaarverbruik van 13.833 m<sup>3</sup>. Omdat dit ruim een factor 10 meer is dan het gemiddelde jaarverbruik wordt die buiten de analyses gelaten waarin wordt gekeken naar totale verbruiken. Deze woning bleek overigens ook geen deel uit te maken van de netto steekproef van de enquête, zodat nadere analyse niet mogelijk was. De verdeling van

het gasverbruik in deze 825 woningen is weergegeven in Figuur 2-1. Van deze 825 woningen konden er 495 worden gekoppeld aan een respondent in de netto steekproef van de enquête.

**Figuur 2-1** Verdeling gasverbruik per jaar in steekproef met (bijna) volledige gegevens



Voor de verdere analyse van patronen van gasverbruik is het onderscheid tussen stookseizoen (oktober t/m april) en niet-stookseizoen (mei t/m september) van belang. Er is daarom een analysebestand gemaakt met – per woning - de 336 datapunten die zijn opgebouwd uit:

- 24 uur
- in 7 dagen
- in 2 seizoenen (stook- en niet stookseizoen)

De datapunten waarop de 24 uurspatronen zijn bepaald, zijn weergegeven in Tabel 2-1. Bij de aggregatie (van max. 8760 naar 336 datapunten per woning/huishouden) is gebruik gemaakt van de gegevens van zoveel mogelijk woningen, dus inclusief de woningen waarvoor de gegevens niet het gehele jaar dekken. De gedachte daarbij is dat een over 10 weken in het stookseizoen gemiddeld 24-uurs patroon voor een maandag net zo relevant kan zijn als hetzelfde patroon dat is gemiddeld over 28 weken. Woningen die na aggregatie minder dan 336 datapunten hadden (en waarvoor dus geen complete set van 14 patronen van 24 uur kon worden gemaakt) zijn wel buiten de verdere patroonanalyses gehouden. Hierdoor resteerden er 1.206 van de 1.327 unieke gebouwen voor de analyse van de 24 uurspatronen per dag en in het stookseizoen/niet-stookseizoen.



Tabel 2-1 datapunten voor patroonanalyse

	begintijd																							
	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
geen stookseizoen																								
zondag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
maandag	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
dinsdag	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
woensdag	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
donderdag	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
vrijdag	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
zaterdag	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168
stookseizoen																								
zondag	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192
maandag	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216
dinsdag	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
woensdag	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264
donderdag	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288
vrijdag	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312
zaterdag	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336

## 2.3 Verwerking elektriciteitsgebruik

Om het elektriciteitsverbruik te isoleren van het gasverbruik en van de teruglevering (zonnepanelen) zijn in de bronbestanden de records geselecteerd die voldeden aan de criteria:

- Energievorm = elektriciteit.
- Soortmeter = afname, enkel tarief;
- Soortmeter = afname, dubbele meter - normaal tarief
- Soortmeter = afname, dubbele meter – laag tarief

Elektriciteitsverbruik heeft in de analyses in deze rapportage – tenzij anders vermeld - dus betrekking op afname van elektriciteit, ongeacht terugleveringen. Of mensen terugleveren wordt wel meegenomen in de analyses omdat het een verklarende factor kan zijn voor het niveau van de afname.

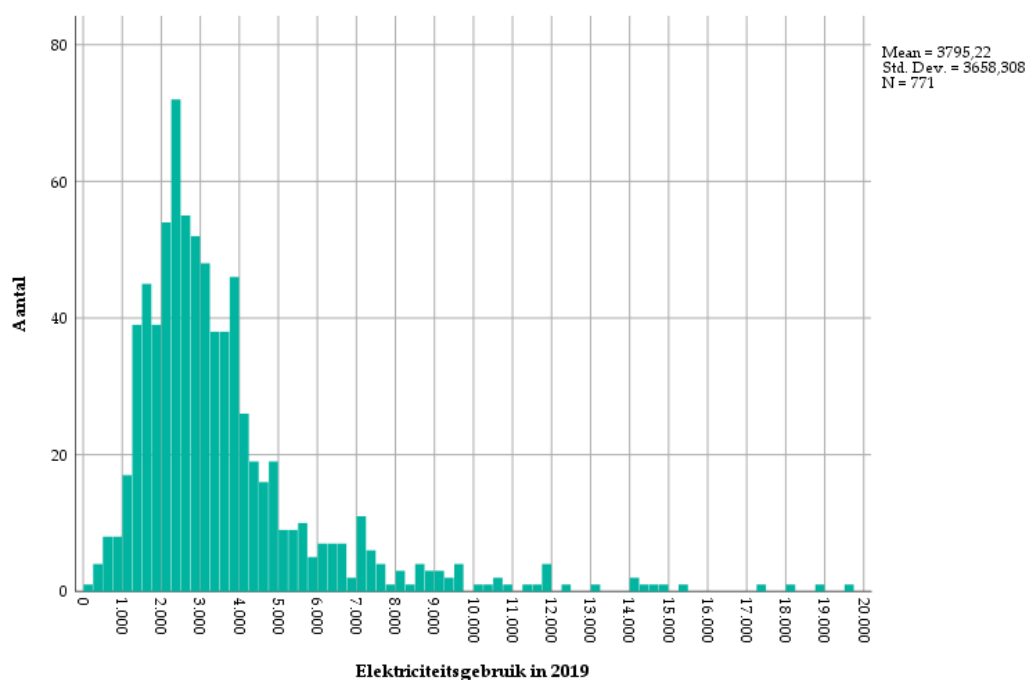
We zijn bij de analyses in deze rapportage in eerste instantie niet geïnteresseerd in kosten, maar in verbruik. Daarom zijn de elektriciteitsverbruiken voor laag en normaal tarief samengevoegd tot één verbruiksbestand met dubbele meters. Ook hierbij kan het hanteren van een dubbele meter wel weer verklarend zijn voor het verbruik en het verbruikspatroon. Het wordt daarom wel in de analyses betrokken.

Alleen de meetpunten die betrekking hadden op 1 uur zijn geselecteerd. Dit betrof 99,9% van de datapunten. Hier komen echter ook ‘dubbele’ registraties in voor: situaties waarin twee verschillende meter-id’s aan eenzelfde building-id zijn gekoppeld, situaties met twee keer dezelfde combinatie van meter-id en building-id en situaties waarbij een meter zowel volgens enkel tarief als volgens dubbel tarief is aangemerkt. Er zijn daarmee ook situaties waarin voor een woning voor eenzelfde datum en periode 5 metingen beschikbaar zijn. Anders dan bij de registraties van gasverbruik zijn hierbij de waarden niet altijd identiek. Er dringt zich ook geen eenvoudig algoritme op dat aangeeft hoe de

verschillende metingen zich tot elkaar verhouden. Soms geven verschillende enkele meters dezelfde waarde, soms verschillen ze een klein beetje en soms tellen verschillende enkele meters op tot het verbruik van de dubbele meters, maar dus niet altijd. Het verbruik volgens de dubbele meter kan ook (iets) lager zijn dan de som van de enkele meters en zelfs dan dat van de hoogste individuele meter. Kortom, omdat niet duidelijk is welke meting de juiste is en/of hoe verschillende metingen kunnen worden gecombineerd tot een juiste waarde, zijn voor verdere analyse alleen de woningen geselecteerd waarvoor voor het meetjaar 2019 alleen gegevens van één meter beschikbaar zijn.

Door deze selectie resteren 1.219 van de 1.596 woningen. Voor 491 hiervan was er een volledige dataset met 8.760 meetpunten (24 uur x 365 dagen) beschikbaar. Voor 771 woningen (63%) waren er minimaal 8.700 meetpunten. Alleen van de 771 unieke woningen (building\_id's) met 8.700 meetpunten of meer is een (indicatie van het) elektriciteitsverbruik over 2019 berekend. De verdeling daarvan is weergegeven in Figuur 2-2. Daarbij zijn verbruiken van meer dan 20.000 kWh niet weergegeven. Ze zijn evenwel niet uitgesloten van verdere analyses. Van deze 771 woningen konden er 458 worden gekoppeld aan een respondent in de netto steekproef van de enquête.

**Figuur 2-2** Verdeling elektriciteitsverbruik in 2019 in steekproef met (bijna) volledige gegevens



Voor elektriciteitsgebruik in Nederland geldt vooralsnog minder dan voor gebruik van aardgas dat dit sterk seizoensgebonden is. Wel is er een relatie tussen daglicht en elektriciteitsgebruik voor verlichting (minder verbruik in de zomer). Ook kan in de zomer weer meer verbruik voor koeling worden verwacht dan in de winter. En tot slot mag

worden verwacht dat bij een toenemend aandeel all-electric-woningen, waarbij ook verwarming elektrisch plaatsvindt, de seizoensinvloeden een sterkere rol gaan spelen in het elektriciteitsverbruik. Ook teruglevering is seizoensgebonden doordat dit afhankelijk is van zonuren.

Om genoemde redenen is ervoor gekozen om bij elektriciteitsverbruik – net als bij verbruik aardgas – te analyseren op het niveau van uur-patronen per etmaal per week per stook/niet-stookseizoen. Mogelijk is een nadere verfijning wenselijk. Dat kan in toekomstig onderzoek worden vastgesteld. De datapunten waarop de 24 uurspatronen zijn bepaald, zijn weergegeven in Tabel 2-1. De methode en aannames die zijn gehanteerd zijn verder ook identiek aan die bij de datareductie van gasverbruik zijn gehanteerd. Er resulteerden 1.099 van de 1.219 unieke gebouwen voor de analyse van de 24 uurspatronen per dag en in het stookseizoen/niet-stookseizoen.

## 2.4 Verwerking teruglevering

Om de teruglevering van elektriciteit te isoleren, zijn in de bronbestanden de records (meetpunten) geselecteerd die voldeden aan de criteria:

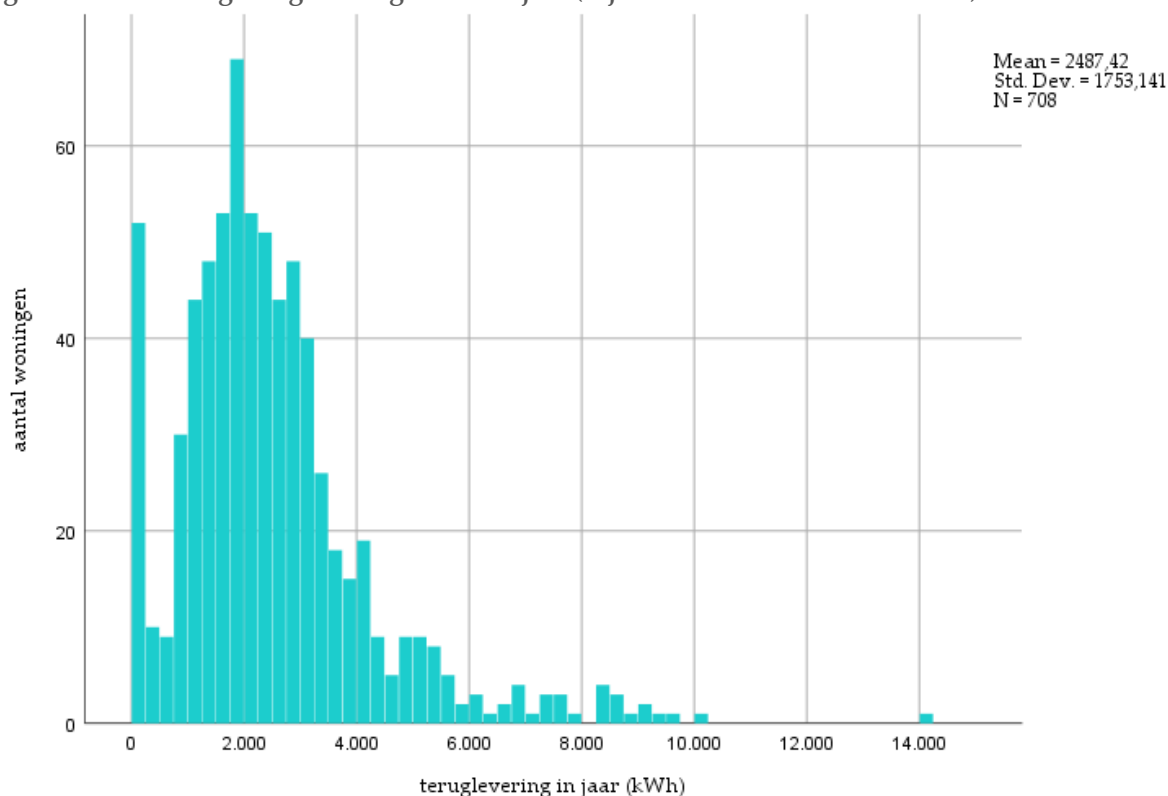
- Energievorm = elektriciteit.
- Soortmeter = Teruglevering, Enkel tarief;
- Soortmeter = Teruglevering, dubbele meter - normaal tarief
- Soortmeter = Teruglevering, dubbele meter – laag tarief

Dit resulteerde in een bestand met 22.985.007 meetpunten die het energiegebruik tussen twee meterstanden weergeven. In dit bestand zijn de meetpunten geselecteerd die betrekking hadden op een periode van 1 uur. Dit betrof 99,9% van de datapunten. Hier komen echter ook – net als bij de leveringen van elektriciteit - ‘dubbele’ registraties in voor: situaties waarin twee verschillende meter-id’s aan eenzelfde building-id zijn gekoppeld, situaties met twee keer dezelfde combinatie van meter-id en building-id en situaties waarbij een meter zowel volgens enkel tarief als volgens dubbel tarief is aangemerkt.

Anders dan bij de gegevens over levering kwam het bij de terugleveringen veel voor dat er dubbele meetpunten waren (dezelfde combinaties van meter-id en building-id met ook dezelfde waarde voor de teruglevering). Deze dubbele meetpunten zijn gereduceerd tot één meetpunt. Voor de overige dubbele registraties is er geen eenvoudig algoritme te vinden dat aangeeft hoe de verschillende metingen zich tot elkaar verhouden. Soms geven verschillende enkele meters dezelfde waarde, soms verschillen ze een klein beetje en soms tellen verschillende enkele meters op tot de levering van de dubbele meters, maar niet altijd. Omdat niet duidelijk is welke meting de juiste is en/of hoe verschillende metingen kunnen worden gecombineerd tot een juiste waarde, zijn voor verdere analyse alleen de woningen geselecteerd waarvoor voor het meetjaar uitsluitend gegevens over teruglevering van één meter beschikbaar zijn.

Door deze selectie resteren 1.107 van de 1.491 woningen waarvoor gegevens over teruglevering beschikbaar waren. Voor 509 (46%) hiervan was er een volledige dataset met 8.760 meetpunten (24 uur x 365 dagen) over het meetjaar beschikbaar. Voor 751 woningen waren er minimaal 8.700 meetpunten. Die kunnen overigens ook allemaal 0 zijn (N=42). Alleen voor de woningen (building\_id's) met 8.700 meetpunten of meer is een jaar-teruglevering berekend. Terugleveringen in een jaar van meer dan 20.000 kWh zijn buiten beschouwing gelaten evenals terugleveringen per meetpunt van meer dan 50 kWh. Bij de woningen met een teruglevering van meer dan 0 kWh in een jaar, hebben er ook nog ruim 50 een teruglevering van minder dan 250 (kWh) zoals kan worden gezien in figuur 2-3.

figuur 2-3 Verdeling terugleveringen in een jaar (bij waarden > 0 en < 20.000 kWh)



Voor 1.008 woningen kon een volledig etmaalprofiel voor stookseizoen/niet stookseizoen en voor 7 dagen in de week (dus met  $24 \times 7 \times 2 = 336$  waarnemingen) worden vastgesteld door 'gemiddelde' terugleveringen voor een tijdstip op een bepaalde dag in de week in of buiten het stookseizoen te berekenen. Hierbij is dus steeds gemiddeld over de betreffende weken in de maanden die als binnen/buiten het stookseizoen zijn gekwalificeerd. Voor 417 woningen konden die gegevens worden gecombineerd met de enquête-uitkomsten.

## 2.5 Combinatie van gas en elektriciteit

Het is vanzelfsprekend mogelijk om slimme-meterdata van gas- en elektriciteitsverbruik separaat te analyseren. Voor veel analyses kan het echter wenselijk zijn om beide samen te nemen, bijvoorbeeld in termen van energiegebruik, kosten of CO<sub>2</sub>-uitstoot. Alleen door combinatie tot energiegebruik ongeacht de energiedrager is het bijvoorbeeld mogelijk om relevante verschillen vast te stellen tussen een HR-ketel en een (hybride) warmtepomp. Immers, in de situatie van een warmtepomp wordt er minder (of geen) gas meer verbruikt, maar daar staat wel (meer) elektriciteitsverbruik tegenover. We verkennen in dit rapport analyses waarbij gas en elektriciteit zijn gecombineerd in energiegebruik. Voor analyses die betrekking hebben op kosten of CO<sub>2</sub>-emissies zijn separate omrekenfactoren nodig.

### Energiegebruik

Om gasverbruik en elektriciteitsverbruik te combineren wordt aardgas omgerekend naar kWh. Daarvoor geldt de energetische waarde van aardgas. Voor gemiddeld Nederlands aardgas gaan we uit van een van 35,17 MJ per m<sup>3</sup>. Dit is de bovenwaarde. Het is ook mogelijk om uit te gaan van de onderwaarde van 31,65 MJ/m<sup>3</sup>. Een kWh staat gelijk aan 3,6 MJ. Een kubieke meter aardgas komt dan overeen met  $35,17/3,6 = 9,7694$  kWh (8,7917 kWh bij de onderwaarde). Een verbruik van 1.000 m<sup>3</sup> aardgas komt dan overeen met een energiegebruik van 9.7694 kWh. Het energiegebruik van een huishouden op enig moment is daarmee de som van het verbruik van aardgas en elektriciteit op dat moment, uitgedrukt in kWh. In deze rapportage worden in hoofdstuk 5 enkele voorbeeldanalyses gegeven waarbij gas- en elektriciteit op deze manier zijn samengenomen. De uitkomsten worden beïnvloed door de keuze voor de energetische waarde van aardgas. Bij hantering van de bovenwaarde brengt dat 11% meer kWh aan verbruik van aardgas met zich mee dan bij hantering van de onderwaarde. Hierdoor wordt gasverbruik in de vergelijking op basis van de bovenwaarde relatief 'onzuinig'.

### Kosten

De prijs van een kWh gas lag in ieder geval tot Q1 2022 lager dan die van een kWh die direct als elektriciteit wordt ingekocht. Een kWh stroom was in Q1 2022 ongeveer 2,5 zo duur als een kWh gas. Gezien de sterke fluctuaties in de prijzen van gas en elektriciteit is het belangrijk om steeds nadrukkelijk te vermelden met welke omrekenfactoren rekening is gehouden.

In deze rapportage maken we een voorbeeldanalyse voor prijspeil Q1 2022. Voor elektriciteit gaan we uit van een totaalprijs van € 0,40 per kWh. Dat was de prijs voor levering, inclusief energiebelasting, opslag duurzame energie en BTW. Deze prijs was wel aanzienlijk hoger dan die in de periode ervoor was. Voor gas gaan we eveneens uit van het prijspeil Q1 2022. Die prijs bedroeg toen € 1,74 per m<sup>3</sup>. Ook deze prijs is de prijs voor levering, inclusief energiebelasting, opslag duurzame energie en BTW. Per kWh kwam de prijs voor gas dan uit op € 0,18 (op basis van de bovenwaarde), waarmee per Q1 2022 elektriciteit per kWh ongeveer 2,2 keer duurder is dan gas. Dat verschil is kleiner dan

het in Q3 2021 was, toen het nog uitkwam op een factor 2,7. Voor prijsvergelijkingen per kWh gas geldt dat deze relatief gunstig zijn voor de gasprijs bij gebruik van de bovenwaarde ten opzichte van gebruik van de onderwaarde.

Voor teruglevering gaan we uit van de volledige saldering, waarmee voor de teruglevering dezelfde prijs wordt gehanteerd als voor de levering. De formule om de kosten te bepalen wordt dan:

Netto kosten (€) = m<sup>3</sup> aardgas \* € 1,74 + (verbruik – teruglevering elektriciteit in kWh) \* € 0,40.

In paragraaf 5.4.1 wordt een voorbeeldanalyse gegeven op basis van kosten.

### CO<sub>2</sub>-emissies

Voor een vergelijking waarbij CO<sub>2</sub>-emissies voorop staan, zijn ook eigen omrekeningsfactoren nodig. Deze zijn ook niet constant in de tijd omdat de CO<sub>2</sub>-emissie voor een kWh elektriciteit verandert als gevolg van veranderingen in de samenstelling van de opwekking van die elektriciteit (gas, kolen, kerncentrale, hernieuwbare bronnen). In 2020 gold een omrekenfactor van 0,29 kg/kWh<sup>1</sup>. Voor gas zou kunnen worden uitgegaan van 0,20 kg/kWh of 56,4 kg/GJ.<sup>2</sup> In deze rapportage zijn geen analyses opgenomen waarbij wordt vergeleken op basis van CO<sub>2</sub> emissies.

### Selectie woningen

Een complicatie bij het bepalen van het gecombineerde energiegebruik in de dataset waarmee wordt gewerkt, is dat er door onvolkomenheden in de data woningen zijn uitgesloten bij ofwel aardgas ofwel elektriciteit. Daardoor is het niet zo dat als er voor een woning geen gebruik van aardgas bekend is, dit altijd een all-electric woning betreft. Om die reden is het nodig om aanvullende controles uit te voeren op de gecombineerde data. Daarbij gaan we ervan uit dat:

- In elke woning elektriciteit wordt verbruikt; woningen zonder elektriciteitsverbruik worden niet meegenomen in de analyses. Dit gaat om 318 van de 1.417 woningen waar we minimaal óf voor gas óf voor elektriciteit valide 24 uurspatronen voor 7 dagen in /buiten stookseizoen hebben.
- In elke woning gas wordt verbruikt, behalve in woningen met warmtelevering en in woningen waar elektrisch wordt verwarmd én op elektriciteit wordt gekookt. Woningen zonder gasverbruik maar zonder warmtelevering of zonder dat warmte geheel elektrisch wordt opgewekt én zonder elektrisch koken worden uitgesloten van verdere analyses. In totaal zijn er 213 van de 1.417 woningen

---

<sup>1</sup> Op basis van de integrale methode zoals toegepast door CBS (<https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2022/05/rendementen-co2-emissie-elektriciteitsproductie-2020>). Deze waarde is aanzienlijk lager dan die in 2019 toen die nog van 0,37 kg/kWh was.

<sup>2</sup> RVO (2019), Berekening van de standaard CO<sub>2</sub>-emissiefactor aardgas t.b.v. nationale monitoring 2020 en emissiehandel 2020

waar geen valide gegevens voor gasverbruik beschikbaar zijn. Daarvan hebben er 31 warmtelevering en zijn er 35 vermoedelijk 'all electric'. De andere 165 worden verder niet meegenomen in de analyses in hoofdstuk 5.

Omdat we ons in hoofdstuk 5 richten op de combinatie van gegevens uit de enquête en van slimme meters, worden woningen waar wel valide gas- en elektriciteitsverbruiken beschikbaar zijn, maar waarvoor geen enquêtegegevens beschikbaar zijn eveneens uitgesloten van de analyses in dat hoofdstuk. Dat geldt ook nog eens voor 362 woningen.

Daarmee resteren er in eerste instantie 590 woningen voor nadere analyse in hoofdstuk 5 (waarvan 31 met warmtelevering). Daarbinnen zijn er ook nog woningen die als 'all electric' worden gekwalificeerd maar waar wel gasverbruik is. Daarvan kan worden aangenomen dat deze gedurende (of na) de meetperiode zijn overgegaan van gas naar elektriciteit of warmtelevering. Bij deze woningen kan nadere inspectie van het verbruik daar verder inzicht in geven. Dat gaat om 17 woningen. Voor reguliere analyses zijn die woningen echter niet geschikt. Dat geldt ook voor de woningen met warmtelevering, omdat er geen inzicht is in het warmteverbruik. Als die beide categorieën eveneens worden weggelaten, resteren er 541 woningen voor nadere analyse die betrekking hebben op gecombineerd verbruik van gas en elektriciteit.

## 3 Patronen verbruik aardgas

### 3.1 Vaststellen van patronen

Om te ontdekken of er zinvolle patronen kunnen worden vastgesteld met de slimme-meterdata zijn de 24-uursgegevens over 7 dagen in de week en per stook/niet-stookseizoen van alle woningen met bruikbare gegevens onderworpen aan een clusteranalyse. Hierbij is gebruik gemaakt van de Ward-methode, gebaseerd op 'squared euclidean distances'.

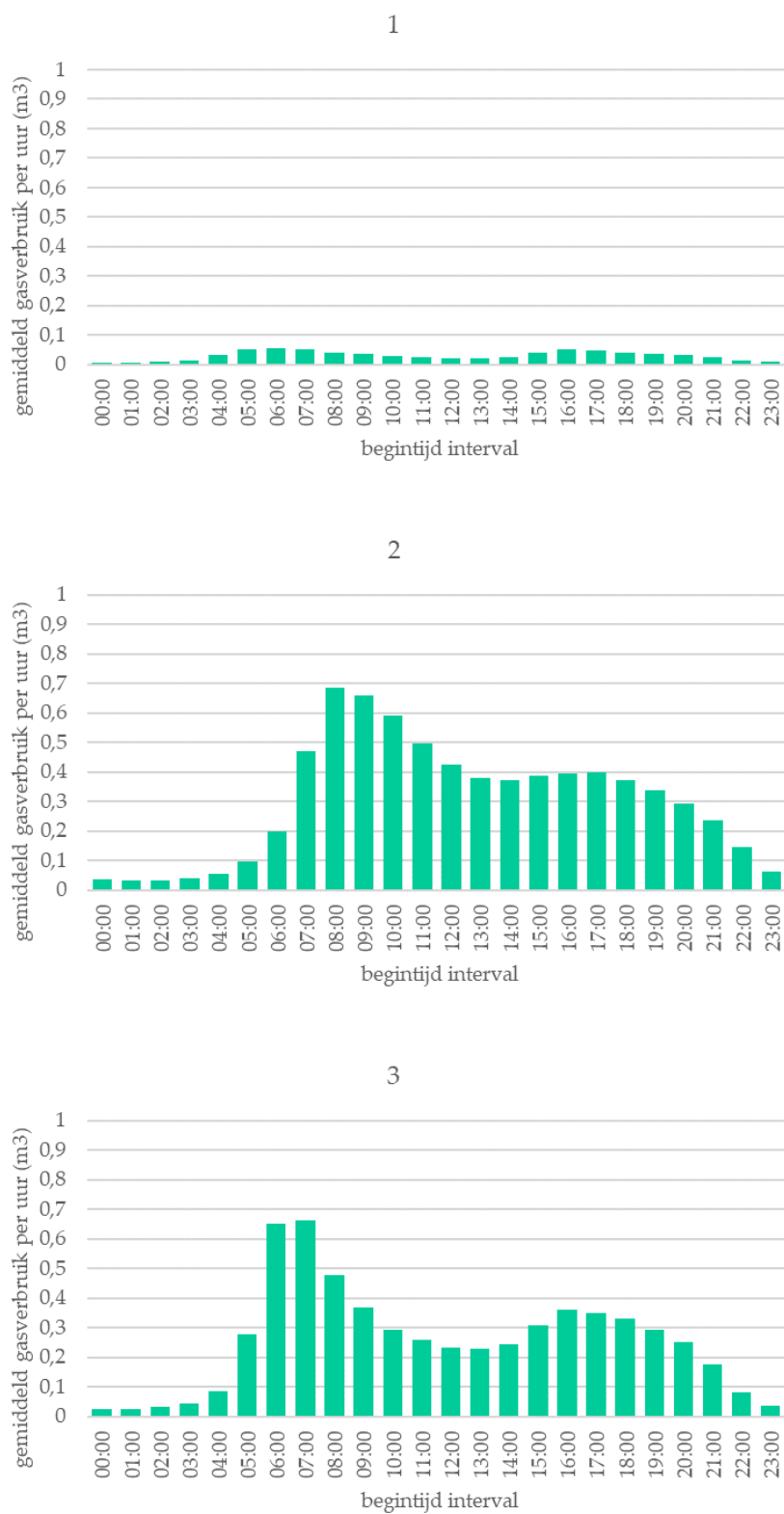
Bij deze clusteranalyse wordt elke regel met 24 meetpunten (uurdata) opgevat als een punt in een meerdimensionale (in dit geval is dat dus een 24 dimensionale) ruimte. Tussen alle punten (i.c. alle individuele etmaalpatronen) worden afstanden uitgerekend door per dimensie het verschil tussen de waarden (de euclidische afstand) te kwadrateren en te sommeren over de dimensies. Vervolgens worden de etmaalpatronen stapsgewijs samengevoegd op basis van de kleinste gesommeerde afstanden. Geheel overlappende patronen gaan het eerst samen en geheel verschillende patronen het laatst. Na elke stap wordt de locatie van het nieuw geformeerde cluster (dat bestaat uit meerdere etmaalpatronen) opnieuw berekend als de centroiden van de etmaalpatronen in het cluster. Ook wordt bij elke stap de toenemende 'scatter' (in het geval van de gehanteerde methode de som van de kwadraten van elk punt tot het middelpunt van het cluster) binnen de ontstane clusters gemeten in het zogenaamde agglomeratieschema.

Door de toename van de 'scatter' in het agglomeratieschema te volgen, kan worden nagegaan op welke momenten clusters worden samengevoegd die tot een onevenredige toename van die 'scatter' binnen de nieuw gevormde clusters leiden. Het aantal clusters voordat die toename ontstaat, is dan de situatie die een acceptabel aantal clusters oplevert. In ruimtes waar geen 'natuurlijke' clusters zijn, maar waar er sprake is van min of meer in elkaar overlopende patronen, is er niet één oplossing die het aantal clusters aangeeft. Er zijn dan altijd meerdere van dergelijke breekpunten, waarbij de laatste (van 2 naar 1 cluster) de grootste 'spanning' oplevert. Meestal wordt daarom een aantal oplossingen geprobeerd om te komen tot een set van clusters die voldoende homogeen én maximaal verschillend zijn.

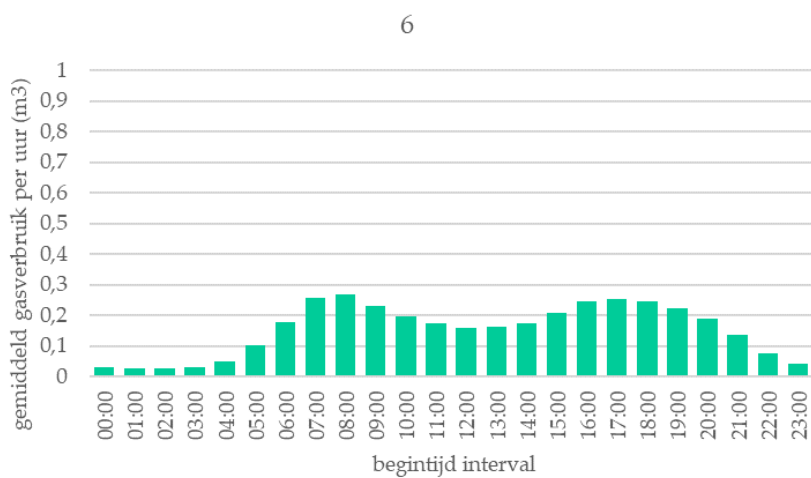
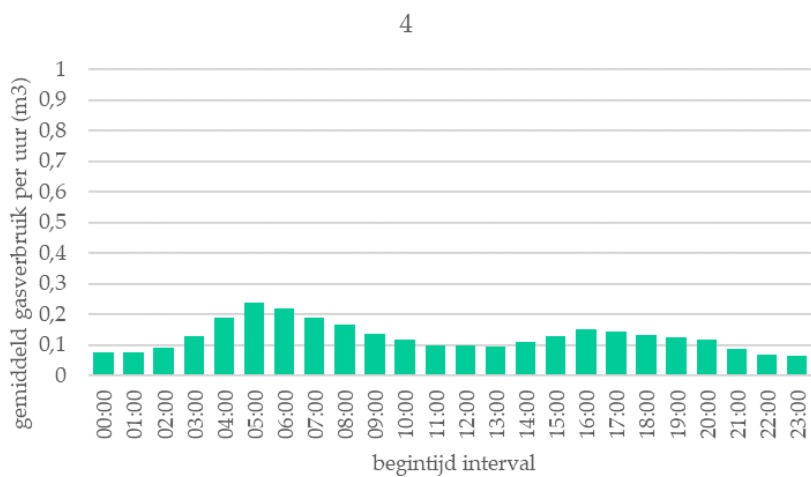
Uit de clusteranalyse op de 24 uursgegevens kwamen 13 patronen naar voren, waarvan 4 patronen te herleiden zijn tot specifieke huishoudens met een bijzonder (hoog) gasverbruik en een vermoedelijk atypische woonsituatie. Op die vier gaan we verder niet in omdat die geen algemene patronen weerspiegelen. De resterende negen clusters of etmaalpatronen zijn weergegeven in figuur 3-1.



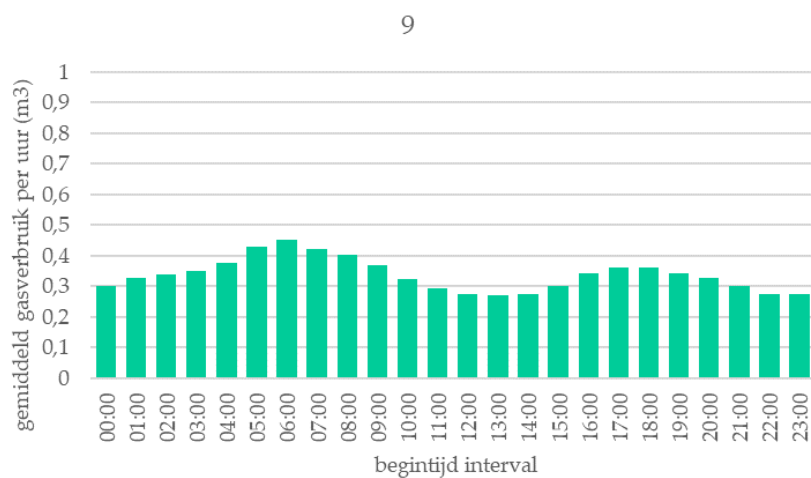
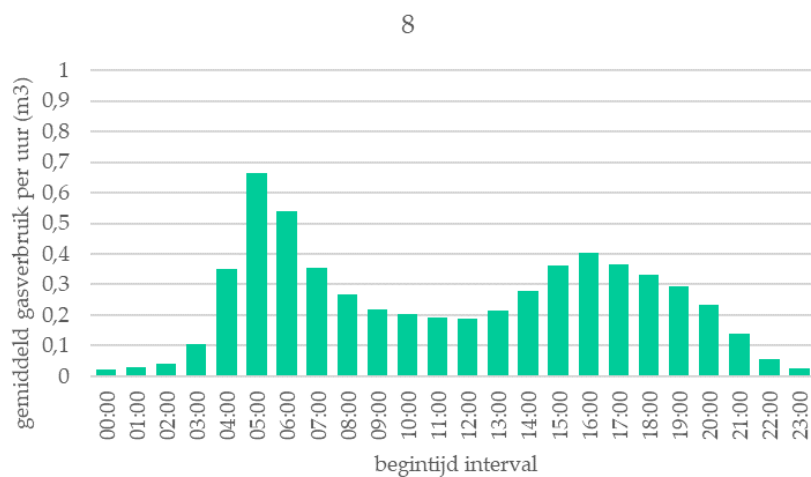
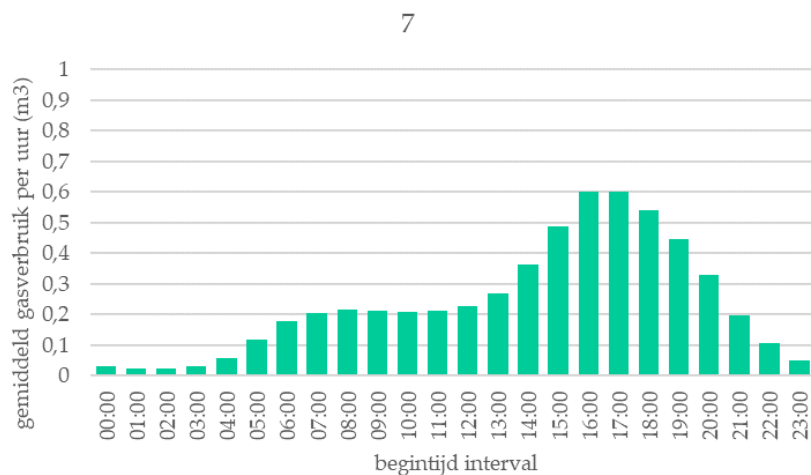
figuur 3-1 Patronen gasverbruik op basis van hiërarchische clusteranalyse



figuur 3.1 (cont.) Patronen gasverbruik op basis van hiërarchische clusteranalyse



figuur 3.1 (cont.) Patronen gasverbruik op basis van hiërarchische clusteranalyse



De patronen verschillen van elkaar in niveau, spreiding en de hoogte en ligging van de pieken (Tabel 3-1). De patronen verschillen ook in hoeveel ze voorkomen en wanneer ze voorkomen, in het stookseizoen of niet en in het weekend of tijdens doordeweekse dagen (Tabel 3-2).

**Tabel 3-1 Karakteristieken van de 24 uurspatronen gasverbruik (m<sup>3</sup>)**

patroon	uurmediaan				minimum	maximum	hoogste piek (begintijd)	secundaire piek
	verbruik per etmaal	binnen etmaal	spreiding in het etmaal					
1	0,739	0,031	0,015	0,008	0,057	06:00	16:00	
2	7,204	0,355	0,205	0,033	0,684	08:00	-	
3	6,087	0,256	0,178	0,025	0,662	07:00	16:00	
4	3,063	0,122	0,047	0,064	0,240	05:00	-	
5	10,736	0,492	0,247	0,071	0,962	06:00	16:00	
6	3,680	0,174	0,085	0,026	0,269	08:00	17:00	
7	5,740	0,209	0,183	0,025	0,602	16:00	-	
8	5,892	0,227	0,163	0,024	0,665	05:00	16:00	
9	8,107	0,334	0,052	0,270	0,452	06:00	18:00	

Noot. Relatief (ten opzichte van het gemiddelde) hoge verbruiken zijn bruin gemarkeerd en relatief lage verbruiken zijn groen gemarkeerd.

**Tabel 3-2 Voorkomen van de 24 uurspatronen gasverbruik**

patroon	% buiten stookseizoen	% in stookseizoen	% in weekend	% in weekdagen	% totaal
	1	91%	15%	54%	53%
2	0%	6%	5%	2%	3%
3	0%	14%	8%	7%	7%
4	7%	15%	10%	12%	11%
5	0%	5%	2%	3%	2%
6	1%	17%	12%	8%	9%
7	0%	7%	3%	4%	4%
8	0%	13%	3%	8%	7%
9	0%	6%	3%	3%	3%
	100%	100%	100%	100%	100%

Noot. Relatief (t.o.v. % totaal) veel voorkomende patronen zijn gemarkeerd

Patroon 1 is het patroon dat vooral buiten het stookseizoen te zien is met een laag verbruik, weinig spreiding, en lage pieken. Ook de echte 'nul'patronen – zonder gasverbruik – vallen in patroon 1. Ook 15% van de patronen buiten het stookseizoen zijn een patroon 1. Dit kan voorkomen op warme dagen, maar het is ook mogelijk dat het specifieke woningen betreft die zonder gas worden verwarmd of dat het samenhangt met geringe aanwezigheid in de woning. Daar komen we later op terug. Andere patronen met

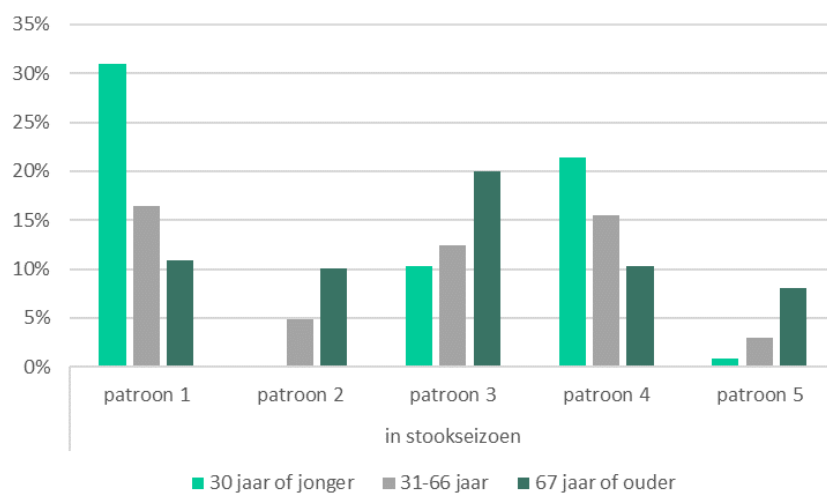
een relatief laag gasverbruik zijn 4 en 6. Ook die komen relatief vaak voor buiten het stookseizoen, maar maken ook een derde van alle patronen in het stookseizoen uit. De andere patronen – met gemiddeld meer verbruik - komen niet voor buiten het stookseizoen.

In het stookseizoen zijn – binnen de steekproef – patronen 6, 4, 3 en 8 het meest voorkomend. Patroon 2 – met een relatief hoog verbruik, een late piek en hoog niveau gedurende de hele dag komt relatief veel voor in het weekend. Patroon 5 is het hoogverbruik patroon, gevolgd door patroon 9 en patroon 2. Afzonderlijk komen ze niet heel veel voor, maar in combinatie gaat het om een op de zes etmaalpatronen in het stookseizoen.

### 3.2 Verschillen tussen woningen en huishoudens

De toepassing van de patronen voor gasverbruik door huishoudens hangt samen met zowel kenmerken van huishoudens als met kenmerken van woningen. Vooral in het stookseizoen zijn er relevante verschillen. Zo is in figuur 3-2 te zien dat vooral jongere huishoudens vaak – bijna in een derde van de tijd – uitkomen op patroon 1 (minste verbruik). Dat is drie keer zo vaak als bij ouderen. Ouderen komen juist weer vaker dan de jongeren uit op patroon 2, 3 en 5. Patronen 2 en 5 kenmerken zich door een hoog gebruik en in het bijzonder een hoog niveau gedurende de dag (tussen de pieken). Het is aannemelijk dat deze verschillen tussen leeftijdsgroepen in het bijzonder samenhangen met de aanwezigheid in huis.

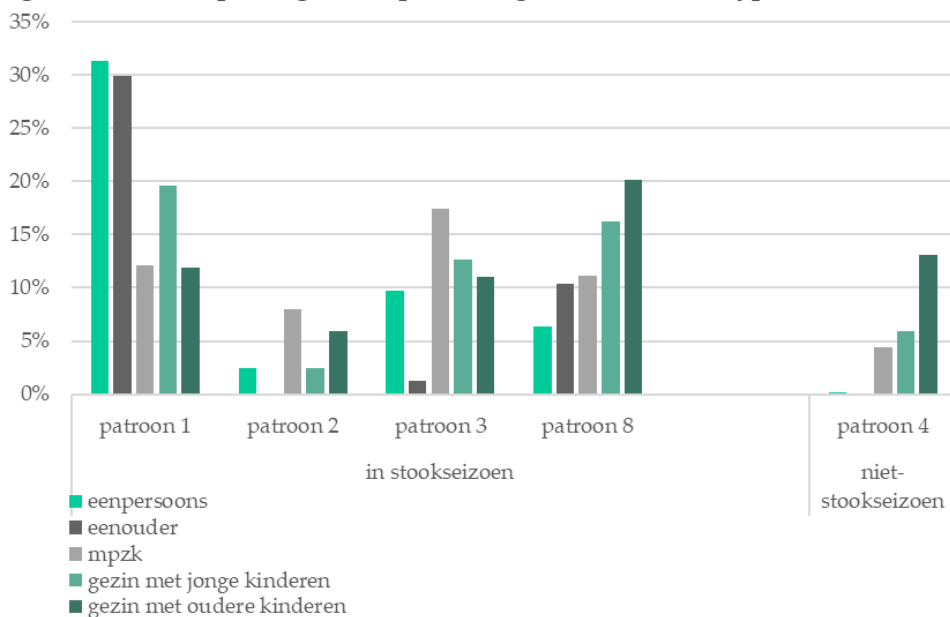
**figuur 3-2 Toepassing etmaalpatronen gasverbruik in stookseizoen naar leeftijd**



Ook tussen typen huishoudens zijn er flinke verschillen in de patronen waar men op uitkomt (figuur 3-3). Eenpersoonshuishoudens en eenoudergezinnen komen vaker dan de andere huishoudens uit op patroon 1 (zuinig) in het stookseizoen. Meerpersoonshuishoudens zonder kinderen gebruiken vaak patroon 3 en meerpersoonshuishoudens met oudere kinderen gebruiken vaak patroon 8 in het stookseizoen en patroon 4 daarbuiten. Patroon 8 wordt gekenmerkt door een vrij groot verschil tussen de laagste en hoogste waarde met een steile piek in de ochtend. Die hangt mogelijk samen met een concentratie van gebruik van warm tapwater op dat moment in deze gezinnen. Patroon

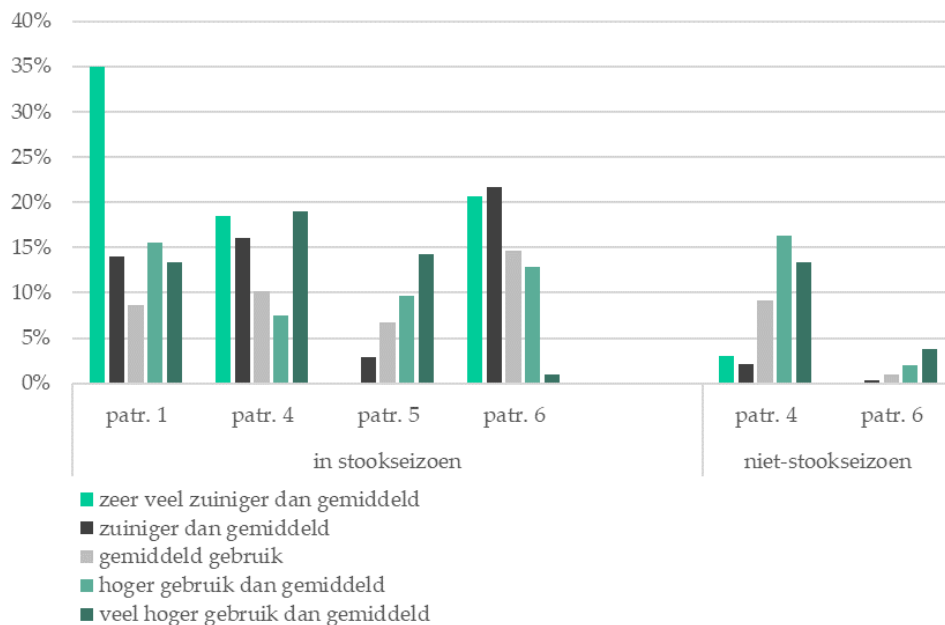
4 is weliswaar zuinig. Maar buiten het stookseizoen is het relatief veel toepassen van dit patroon waarbij gedurende de dag toch een vrij constant verbruik te zien is, natuurlijk wel onzuiniger dan patroon 1 (dat door de meeste huishoudens buiten het stookseizoen wordt toegepast).

figuur 3-3 Toepassing etmaalpatronen gasverbruik naar type huishouden



Het oordeel van bewoners over hun eigen energiegedrag heeft ook een duidelijke relatie met de verbruikspatronen voor aardgas waar men op uitkomt, zowel in het stookseizoen als erbuiten (figuur 3-4). De huishoudens die zichzelf zuinig vinden passen hoofdzakelijk patroon 1, 4 of 6 toe in het stookseizoen. Dit zijn alle drie ‘zuinige’ patronen. En ook bij patroon 5 – het meest onzuinige patroon – is goed te zien dat dit direct samenhangt met het oordeel over de eigen energiezuinigheid van het huishouden. De naar eigen oordeel minst zuinige huishoudens komen vaker dan de andere uit patroon 5. Patroon 4 is nog net wat frequenter in deze groep, maar patroon 6 (eveneens zuinig met lage nachttemperatuur) komt bijna niet voor.

figuur 3-4 Toepassing etmaalpatronen gasverbruik naar oordeel eigen energiegedrag



### Samenhang met kenmerken van woningen

Voor de woningkenmerken vergelijken we eerst welke kenmerken de sterkste relatie hebben met het gebruik van specifieke patronen in het algemeen (Tabel 3-3). Als er bijvoorbeeld weinig onderscheid is tussen vrijstaande woningen en tussenwoningen in het gebruik van de patronen, resulteert dat in een lage waarde in de kolom 'multivariaat effect' in Tabel 3-3. Omgekeerd als in grote woningen structureel andere patronen worden toegepast dan in kleine woningen resulteert dat in een hoge waarde in de die kolom. In de andere kolommen in Tabel 3-3 worden de patronen benoemd waarop er verschillen zijn tussen de kenmerken van de woningen.

Tabel 3-3 Relatie woningkenmerken met voorkomen etmaalpatronen

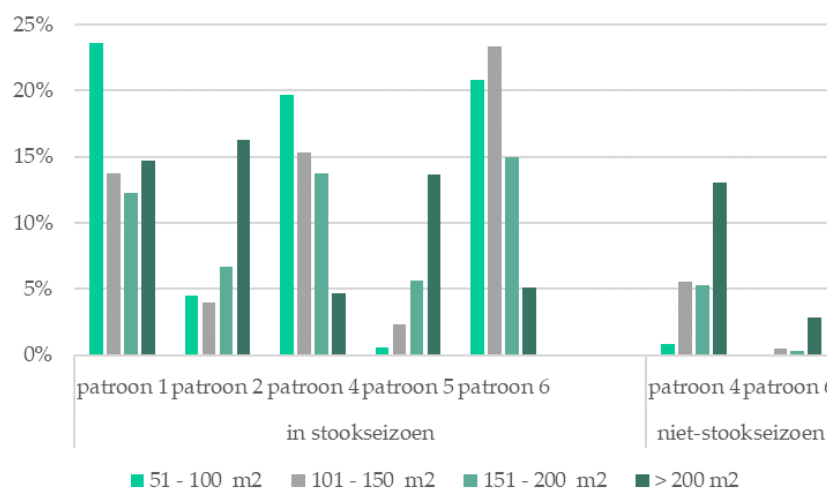
	multivariaat effect	patronen met sign. verschillen tussen woningkenmerken							
		in stookseizoen						buiten stookseizoen	
		1	2	3	4	5	6	9	4
woningtype	3,99	1	2	3	4	5	6	9	4
bouwjaar	2,54			3	4	5		8	1 4
woninggrootte	4,55		2		4	5	6	9	1 4 6
verliesoppervlak	5,44	1	2	3		5	6	9	1 4
labels	2,03	1		3		5		8	1 4

In Tabel 3-3 is te zien dat alle woningkenmerken<sup>3</sup> een relatie hebben met het voorkomen van specifieke etmaalpatronen. De relaties zijn niet bijzonder sterk, maar wel significant. Verliesoppervlak (aantal gevels grenzend aan de buitenlucht) en woninggrootte zijn het meest onderscheidend. Maar woningtype heeft een (weliswaar kleiner) effect op het voorkomen van meer verschillende patronen. Alleen patroon 7 (het enige patroon dat alleen een middag/avondpiek kent) is niet gerelateerd aan woningkenmerken. Het voorkomen van patroon 5 (het meest onzuinige patroon) hangt samen met alle woningkenmerken evenals het voorkomen van patroon 4 buiten het stookseizoen (waar dit ook een onzuinig patroon is).

Veel van deze woningkenmerken hangen met elkaar samen. Het heeft dan ook niet heel veel zin ze uitputtend te bespreken. We beperken ons – ter illustratie - tot woninggrootte, verliesoppervlak en energielabel.

De toepassing van patroon 1 (het zuinige patroon) in het stookseizoen is vooral sterker in de kleinere woningen (tot 100 m<sup>2</sup>). Tussen de grotere woningen zijn er niet veel verschillen (Figuur 3-5).

**Figuur 3-5** Voorkomen van etmaalpatronen naar woninggrootte



Ook de toepassing van patroon 2 (ochtendpiek en nachtdal, maar overdag vrij hoog niveau; dus onzuinig) lijkt sterk digitaal. Relatief veel in de grootste woningen en veel minder in de kleinere woningen. Het voorkomen van patroon 4 (ook een zuinig patroon in het stookseizoen, maar juist niet daarbuiten) hangt net als dat van patroon 5 (minst zuinig) en patroon 6 (derde zuinige patroon, maar minder dan patroon 4) sterk samen met woninggrootte. In algemene zin geldt hierbij: hoe groter de woning, hoe onzuiniger het verbruikspatroon. Hierbij moet wel worden bedacht dat grote woningen vaak ook vrijstaande woningen zijn met veel verliesoppervlak en bewoond door grotere huishoudens dan de kleinere woningen die vaker meergezinswoningen zijn en bewoond door

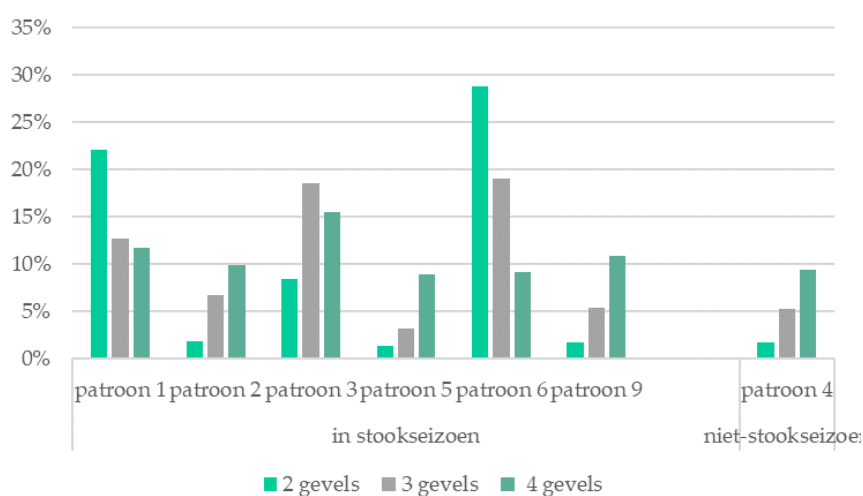
<sup>3</sup> Eigendomsverhouding is niet in de analyses betrokken omdat vrijwel alle woningen in de steekproef koopwoningen zijn en er dus te weinig waarnemingen voor de andere typen zijn.



eenpersoonshuishoudens. Welke patronen veel of weinig voorkomen in een woningtype hangt daardoor niet alleen af van die woninggrootte, maar ook van het woningtype en de bewoning die daarmee samenhangt.

Het aantal gevels dat grenst aan de buitenlucht is het woningkenmerk dat het sterkst samenhangt met het gebruik van de verschillende etmaalpatronen (Tabel 3-3). Hierbij geldt een vergelijkbaar effect als bij woninggrootte voor de duidelijk zuinige en minder zuinige patronen: hoe meer gevels er aan de buitenlucht grenzen, hoe onzuiniger het patroon (Figuur 3-6). Daarnaast zijn er ook relaties met het voorkomen van patroon 3 en 9 in het stookseizoen.

**Figuur 3-6** Voorkomen van etmaalpatronen naar gevels grenzend aan de buitenlucht



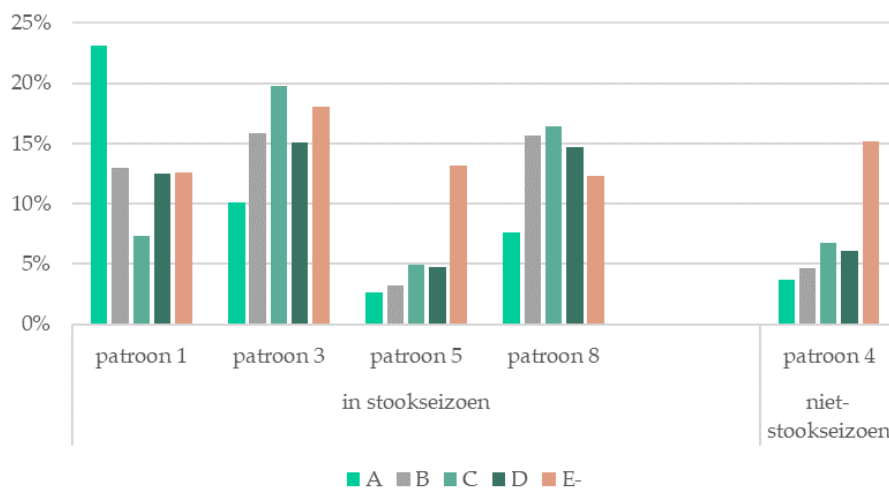
Patroon 3 is qua gasverbruik redelijk gemiddeld, maar kenmerkt zich door een grote spreiding en vooral een laag verbruiksniveau in de nachtelijke uren. Dit wordt vooral toegepast in de woningen met twee gevels grenzend aan de buitenlucht en juist minder wanneer meer gevels aan de buitenlucht grenzen. Patroon 9 komt niet veel voor. Het kenmerkt zich door weinig spreiding en een constant gemiddeld niveau dat per saldo resulteert in een hoog verbruiksniveau. Verliesoppervlak lijkt daardoor – in aanvulling op de relatie met het gemiddelde niveau – ook een relatie te hebben met de variatie binnen een etmaalpatroon: hoe meer verliesoppervlak, hoe minder variatie.

De relatie tussen het voorkomen van verschillende etmaalpatronen en het energielabel van de woning is niet erg sterk (Tabel 3-3). Mogelijk heeft dit te maken met het feit dat veel respondenten onzeker waren over dit energielabel en het dus slechts in beperkte mate iets zegt over de energetische kwaliteit.<sup>4</sup> Niettemin zijn er wel verschillen (Figuur 3-7). Afwijkende toepassingen van de etmaalpatronen zien we daarbij echter vooral aan de uiteinden van het spectrum van energielabels. In woningen met een (vermoedelijk)

<sup>4</sup> 62% van de woningen in de steekproef had een energielabel. Voor deze analyses zijn de door de bewoners geschatte energielabels toegevoegd. Analyse op de 'echte' labels leverde geen grotere verschillen op. De significantie kwam zelfs lager uit (mede door de kleinere N).

label A wordt patroon 1 vaker toegepast (zowel binnen als buiten het stookseizoen) en patroon 3 en 8 die beide een groot verschil hebben tussen het verbruik in de nacht en de ochtend juist minder vaak.

Figuur 3-7 Voorkomen van etmaalpatronen naar (vermoedelijk) energielabel



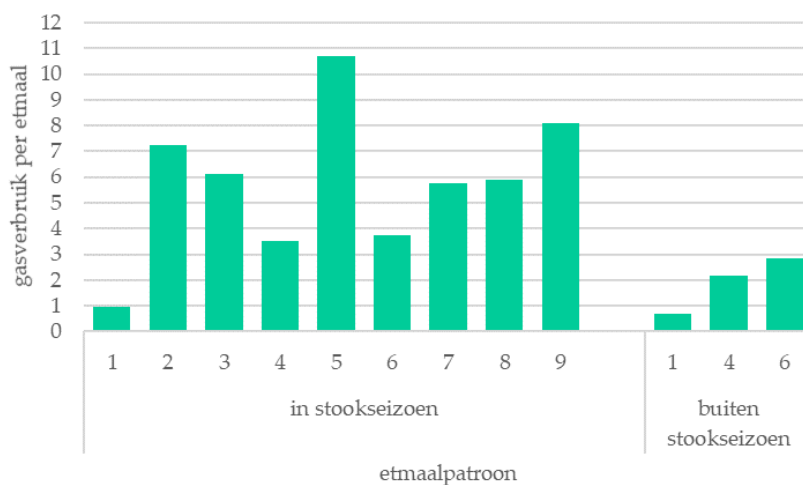
Patroon 5 (in het stookseizoen) en 4 (buiten het stookseizoen) – beide onzuinig - worden vooral toegepast in de woningen met label E of onzuiniger. Op zichzelf is dat plausibel, maar er zou ook worden verwacht dat er meer verschil zou zijn tussen de andere labels. Die verschillen zijn echter opvallend klein. Wat dat betreft lijkt het voor de relatie met de etmaalpatronen vooral een driedeling in energielabels relevant te zijn:

- A of beter,
- E of slechter
- B, C en D gezamenlijk.

### 3.3 Patronen en gasverbruik

In Tabel 3-1 is al getoond dat er flinke verschillen zijn tussen verschillende etmaalpatronen in de gemiddelde gasverbruiken over 24 uur. Dit is nog eens weergegeven in Figuur 3-8 voor de etmaalpatronen binnen en buiten het stookseizoen, waarbij buiten het stookseizoen alleen patronen 1, 4 en 6 een voldoende frequentie hebben om weer te geven.

Figuur 3-8 Gesommeerd gasverbruik over 24 uur per etmaalpatroon in en buiten het stookseizoen



Het aantal huishoudens dat consistent één patroon toepast is beperkt, maar ze zijn er wel. Zo resulteert het gedrag van huishoudens in de woningen waarin zij wonen voor 91 van de 736 huishoudens ook in het stookseizoen altijd in patroon 1, het ‘zuinige’ patroon. Hun gemiddelde jaarverbruik bedraagt 227 m<sup>3</sup>. Het minimale gasverbruik in deze groep bedraagt 0 m<sup>3</sup> voor de all-electric woningen. Het maximale gasverbruik binnen patroon 1 komt uit op 537m<sup>3</sup>. Dit betreft een tussenwoning met label A, uitgerust met gasketel en gasfornuis, maar bewoond door een (jong) gezin dat zichzelf als zeer veel zuiniger dan gemiddeld benoemt. Het is duidelijk dat dit in hun gedrag tot uiting komt, maar ook dat zij – ondanks hun zuinige gedrag toch meer gas verbruiken dan andere huishoudens binnen deze groep. Dat verschil zit dan vooral in de uitrusting van de woningen: wel/geen ketel die (ook) gas verbruikt, wel/niet koken op gas, wel niet verwarmen van warm tapwater met gas.

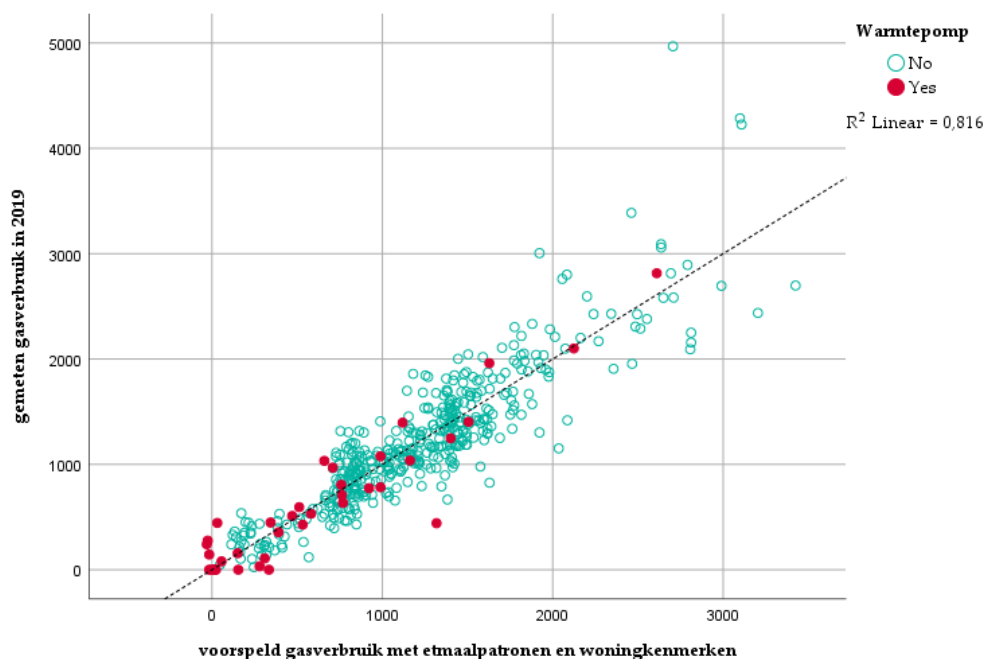
Er zijn ook 20 huishoudens die consequent uitkomen op patroon 5, het minst zuinige patroon. Hun gemiddelde jaarverbruik was 2.517 m<sup>3</sup>. Het minimale verbruik in deze groep bedroeg 1,914 m<sup>3</sup>. Dat betrof een ouder paar in een vrijstaande woning zonder energielabel van tussen 1970 en 1990 met een gasketel, maar met een elektrische kookplaat dat zichzelf als een gemiddelde energiegebruiker beschouwt. Het maximale verbruik kwam in deze groep uit op 3.090 m<sup>3</sup>. Dat betrof eveneens een ouder echtpaar, woneend in een vrijstaande woning met label C, gebouwd tussen 1945 en 1971 met een gasketel en dat aangeeft een hoger dan gemiddeld verbruik te hebben.

De relevante verschillen in de verbruiken tussen groepen die uitkomen op verschillende etmaalpatronen geven aan dat dit belangrijke voorspellers zijn van het feitelijke gasverbruik. Maar de voorbeelden geven ook aan dat er binnen groepen die qua verbruikspatroon vergelijkbaar zijn, toch nog wel grote verschillen kunnen bestaan die samenhangen met de uitrusting en de energetische kwaliteit van de woning. Daarnaast zijn er ook grote verschillen tussen huishoudens in energiezuinigheid die maken dat men zelfs in

een ‘gewone’ standaardwoning met label A toch kan uitkomen op een minimaal gasverbruik.

Hoewel er nog steeds flinke verschillen zijn binnen de patronen is het met een redelijk eenvoudig model gebaseerd op deze patronen wel mogelijk om het individuele gasverbruik per jaar goed te voorspellen. Daarvoor zijn nodig de mate waarin men uitkomt op patronen 1 (stookseizoen en erbuiten) en de patronen 4, 5, 6 en 8; woninggrootte (in klassen) en bouwperiode. De verklaarde variantie van zo’n model komt uit op 82% (Figuur 3-9). Maar, de figuur laat ook zien dat – in het bijzonder bij de hogere voorspelde verbruiken het verschil tussen voorspeld en feitelijk verbruik alsnog groot kan zijn. Zo is er een huishouden dat uitkomt op 5.000 m<sup>3</sup> verbruik bij een voorspelde waarde (op grond van het gemiddelde verbruik geassocieerd met de etmaalpatronen dat het handelt) van minder dan 3.000 m<sup>3</sup>. Dit betreft een gezinshuishouden met oudere kinderen in een vrijstaande woning met label E dat zichzelf ook niet erg zuinig vindt. Hun dominante verbruikspatroon valt niet onder de geclassificeerde patronen en kan dus als vrij uniek worden gezien.

Figuur 3-9 Voorspeld en feitelijk gasverbruik voor woningen met en zonder volledige warmtepomp

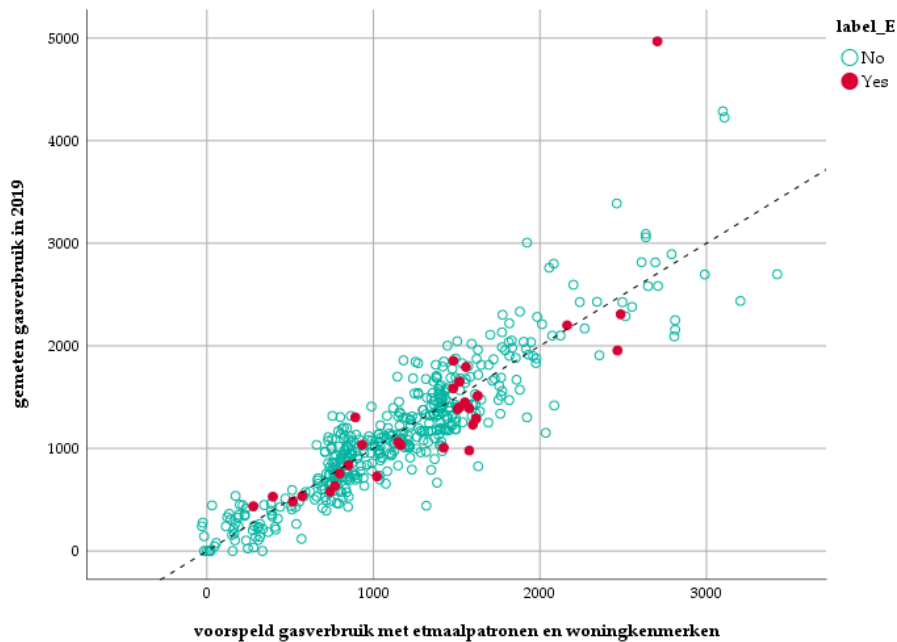


Figuur 3-9 laat ook zien dat het lastig is om uitsluitend aan de hand van (opgegeven) kenmerken van woningen en hun uitrusting te voorspellen wat het feitelijke gebruik is. Zo is te zien dat de respondenten die hebben aangegeven dat de woning is uitgerust met een volledige warmtepomp (dus geen hybride warmtepomp) toch een verbruik hebben dat zich over de gehele range van feitelijk gasverbruik uitstrekt. Het is aannemelijk

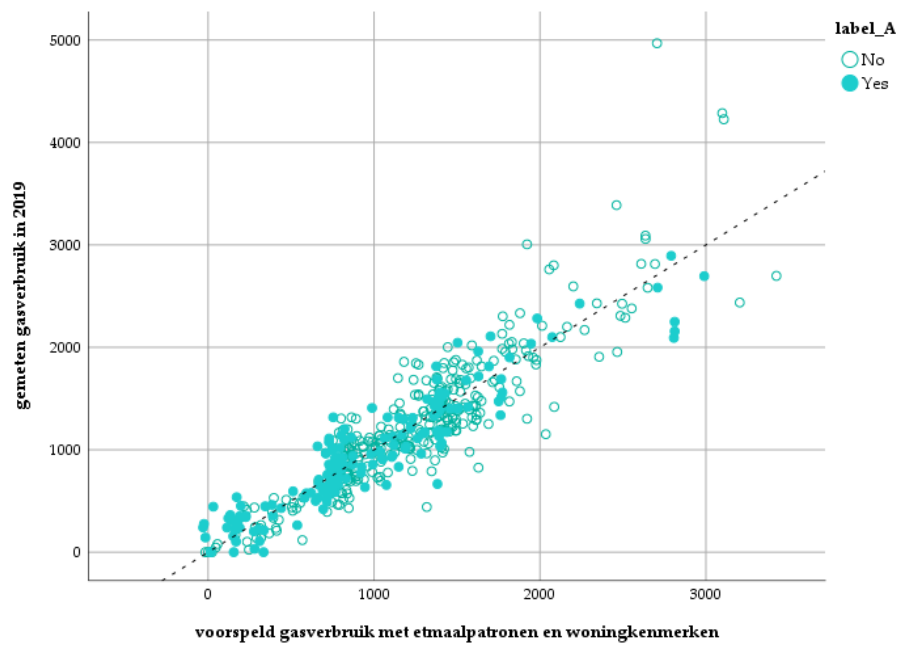
dat dit kan worden verklaard door het moment waarop de warmtepomp is geïnstalleerd, maar ook is het mogelijk dat mensen niet goed hebben begrepen wat wordt bedoeld met een volledige warmtepomp en ten onrechte aangeven dat zij een volledige warmtepomp hebben wanneer dit een hybride variant is. Dit illustreert nog eens hoe lastig het is om op basis van (opgegeven) kenmerken van woningen het energiegebruik te voorspellen. Immers, als je van een maatregel een vrij digitaal effect zou verwachten, dan is het wel de toepassing van een warmtepomp.

Voor het energielabel geldt een vergelijkbaar beeld. Ter illustratie zijn in navolgende figuren de voorspelde en werkelijk verbruiken weergegeven met daarin de positie van woningen met label E of slechter (Figuur 3-10) en label A of beter (Figuur 3-11) gemarkeerd. Het is duidelijk dat de label E woningen vaker meer verbruiken en de label A woningen vaker minder, maar de range is groot. Dit illustreert dan ook nog eens dat het zonder kennis van feitelijke gebruikspatronen niet goed mogelijk is om gasverbruik te voorspellen.

**Figuur 3-10** Voorspeld en werkelijk gasverbruik voor woningen met label E versus overig



Figuur 3-11 Voorspeld en werkelijk gasverbruik voor woningen met label A versus overig



## 4 Patronen verbruik elektriciteit

### 4.1 Vaststellen van patronen

Bij het vaststellen van de patronen voor elektriciteitsverbruik is dezelfde methode gebruikt als bij de patronen voor gasverbruik. Er is geselecteerd op patronen met een lager etmaalverbruik dan 50 kWh omdat extremen de uitkomsten van de clusteranalyse te veel verstoren. Daarmee zijn 160 van de in totaal 15.386 etmaalspatronen uitgesloten. De clusteranalyse resulteert bij de elektriciteitsverbruiken in 14 clusters. Daarvan waren er vier betrekkelijk uniek in de zin dat ze slechts bij een of enkele huishoudens terugkwamen. Ook dit betrof hoog verbruiksclusters. De karakterisering van de resterende 10 clusters en wanneer ze meer/minder voorkomen, is weergegeven in Tabel 4-1 en Tabel 4-2.

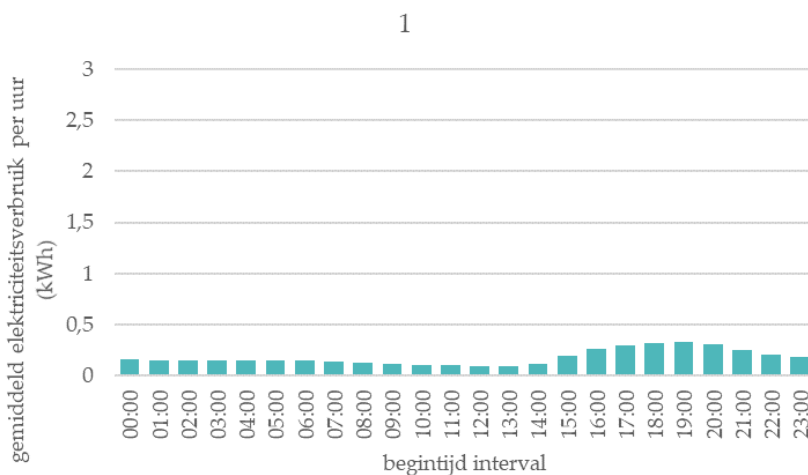
Tabel 4-1 Karakteristieken van de 24 uurspatronen elektriciteitsverbruik

patroon	verbruik per etmaal	mediaan		spreiding in		hoogste piek (begintijd)	laagste punt in dal
		binnen etmaal	het etmaal	minimum	maximum		
1	4,289	0,150	0,075	0,095	0,329	18:00	13:00
2	8,836	0,301	0,174	0,187	0,708	17:00	12:00
3	7,117	0,306	0,196	0,062	0,622	20:00	12:00
4	14,361	0,517	0,237	0,332	1,062	17:00	12:00
5	14,106	0,632	0,196	0,300	0,934	16:00	02:00
6	22,977	0,654	0,583	0,414	1,999	18:00	10:00
7	23,116	0,938	0,216	0,650	1,350	17:00	12:00
9	18,772	0,732	0,537	0,184	1,758	21:00	09:00
10	37,859	1,662	0,461	0,790	2,324	18:00	12:00
11	8,864	0,387	0,101	0,208	0,556	16:00	02:00

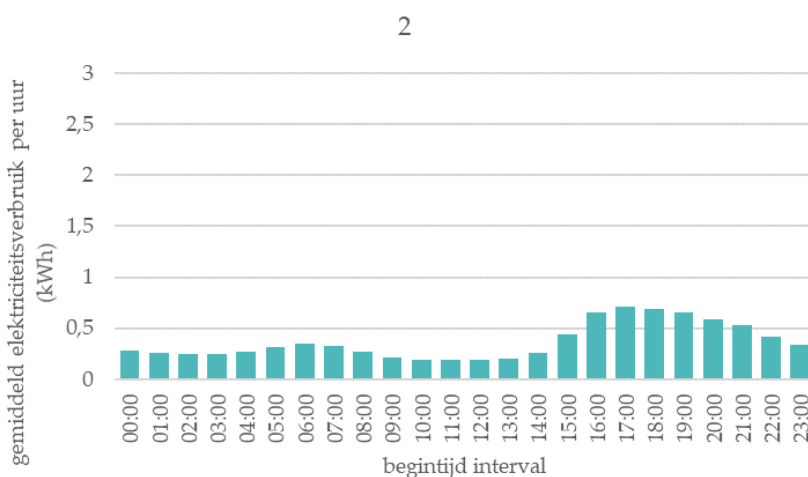
Tabel 4-2 Voorkomen van de 24 uurspatronen elektriciteitsverbruik

patroon	% buiten stook-				
	seizoen	% in stookseizoen	% in weekend	% in weekdays	% totaal
1	53%	23%	36%	39%	38%
2	11%	30%	18%	22%	21%
3	12%	1%	6%	7%	6%
4	3%	11%	7%	7%	7%
5	4%	11%	11%	6%	8%
6	0%	2%	1%	1%	1%
7	1%	6%	4%	3%	4%
9	2%	1%	1%	2%	2%
10	0%	2%	1%	1%	1%
11	12%	13%	15%	11%	12%

Het meest voorkomende patroon is patroon 1. Dit is een laag verbruikspatroon en komt vooral veel voor buiten het stookseizoen en wat vaker gedurende weekdagen dan in het weekend, maar weer wat minder vaak op woensdag. Het is vrij homogeen, met een laag verbruik gedurende de hele dag, maar met een wat hoger verbruik vanaf circa 15:00 tot 23:00 uur. Van 9:00 tot 15:00 is het verbruik het laagst.



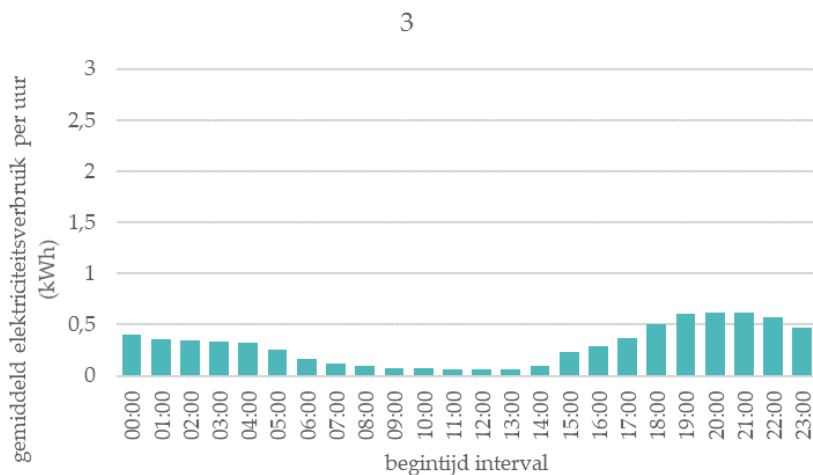
Patroon 2 komt weer vaker voor in het stookseizoen en kenmerkt zich door een gemiddeld wat hoger niveau van verbruik dan patroon 1, maar met een 'piek' die wat vroeger valt, zo rond 17:00 uur. Ook in de ochtend is er een piek van 6:00 tot 7:00. Net als patroon 1 heeft dit patroon het laagste verbruik gedurende de dag van circa 9:00 tot 15:00 uur. In het totaal van de patronen voor elektriciteitsverbruik behoort dit patroon ook tot de meer 'zuinige' patronen.



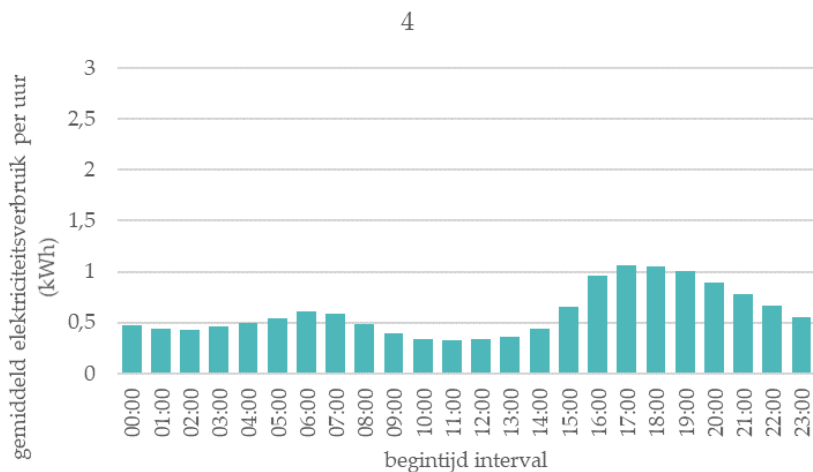
Patroon 3 is een patroon dat vrijwel uitsluitend buiten het stookseizoen voorkomt. Het kent een wat hoger verbruik dan patroon 1. Dit komt vooral doordat in de avond en nacht vrij veel wordt verbruikt. Overdag is het elektriciteitsverbruik bijzonder laag en



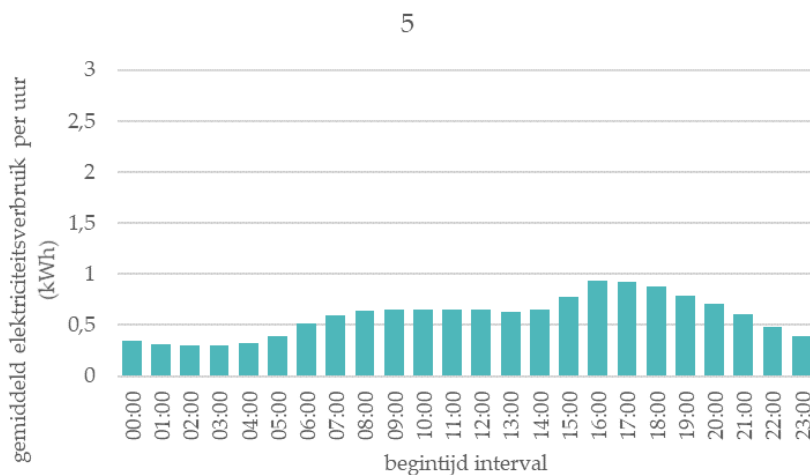
komt tussen 11:00 en 14:00 op het laagste niveau van alle patronen. De spreiding is – gegeven het gemiddeld betrekkelijk lage niveau vrij groot in dit patroon.



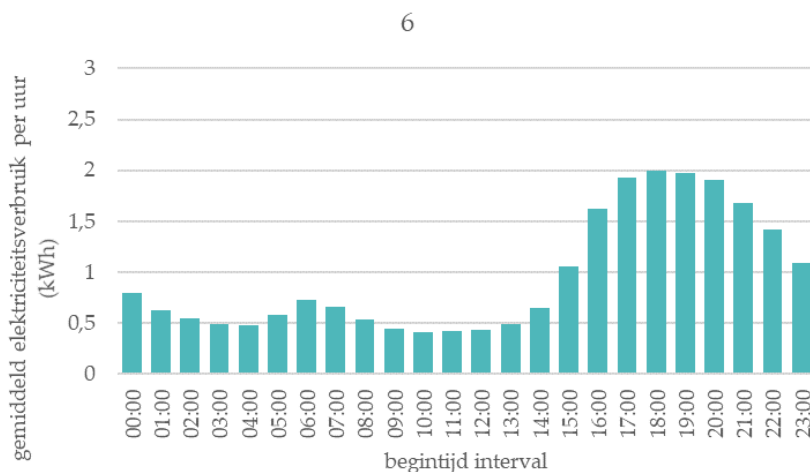
Patroon 4 behoort qua niveau tot de gemiddelde patronen. Het komt vooral veel voor in het stookseizoen. Er is weinig verschil in voorkomen tussen week- en weekenddagen. De spreiding over de dag is betrekkelijk gering. Het laagste verbruik ligt vrij hoog en het hoogste verbruik ligt vrij laag. Qua verloop over de dag lijkt het op patroon 2, maar dan met een gemiddeld wat hoger verbruiksniveau.



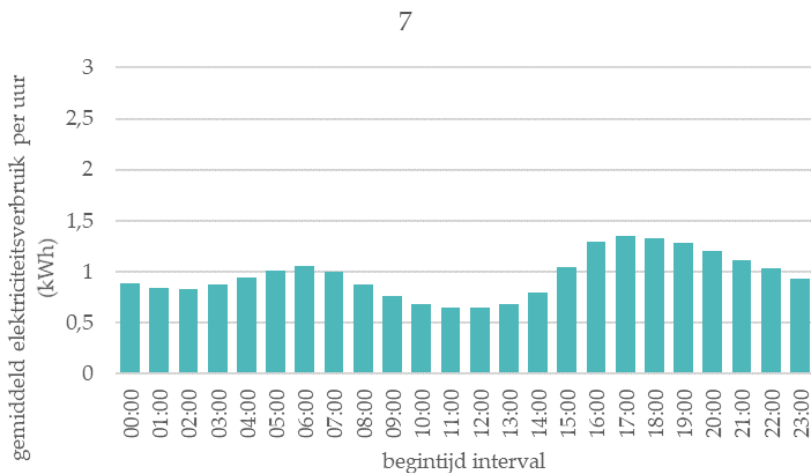
Net als patroon 4, komt patroon 5 vooral veel voor in het stookseizoen en is het een min of meer gemiddeld patroon. Anders dan bij patroon 4 is dat er geen dal is in het verbruik overdag. Het komt ook wat meer voor in het weekend dan gedurende de week. Ook op vrijdag komt dit patroon wat vaker voor. De spreiding is ook betrekkelijk gering. Het maximum ligt – voor de gemiddelde patronen - relatief laag en het minimum ligt vrij hoog. Het laagste verbruik wordt van 0:00 tot 5:00 gemeten.



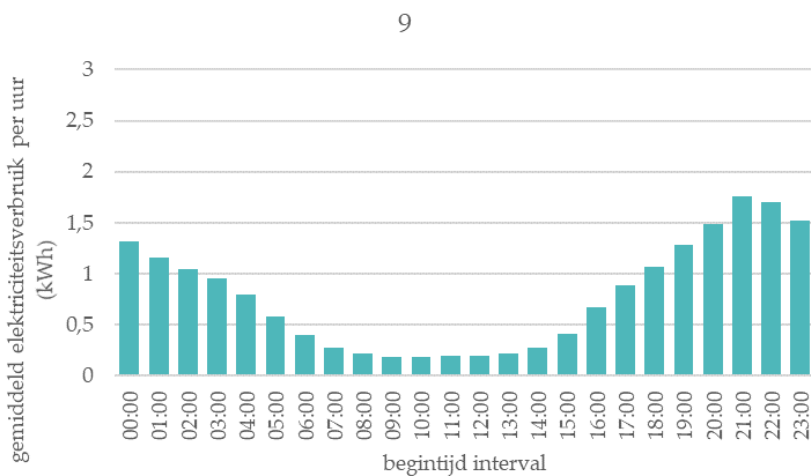
Patroon 6 is een patroon dat niet veel voorkomt en is vrijwel uitsluitend te zien in het stookseizoen. Het is een patroon met een gemiddeld hoog verbruik en een grote spreiding. Het verschil tussen de laagste en de hoogste verbruikswaarden is groot. De piek ligt tussen 17:00 en 21:00 uur 's avonds. Overdag – tussen 10 en 13:00 - is het verbruik relatief laag, evenals 's nachts tussen 2:00 en 5:00 uur, maar echt laag wordt het nooit. Dus ook 's nachts is het verbruik nog behoorlijk hoog; hoger dan de 'piek' van patroon 1 bijvoorbeeld. Tussen 6:00 en 8:00 uur is er een kleinere piek.



Patroon 7 is ook een patroon dat vooral veel voorkomt in het stookseizoen. Het heeft een hoog gemiddeld verbruik en heeft – van de hoog-verbruikspatronen de minste spreiding. Het laagste verbruiksniveau – dat tussen 11:00 en 14:00 wordt bereikt is hoger dan het maximum van patroon 1 en 3. Vooral opvallend is het relatief hoge verbruiksniveau gedurende de nacht.

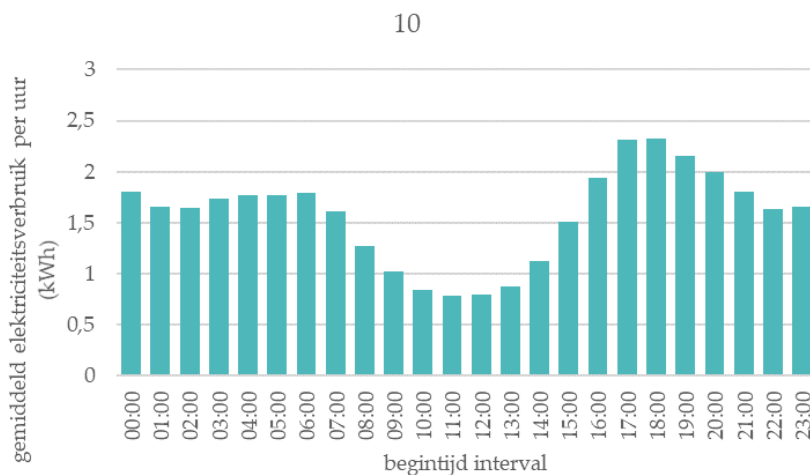


Patroon 9 komt niet veel voor. Het hoge nachtverbruik is er het meest opvallend aan. Het komt meer voor buiten het stookseizoen dan daarbinnen en wat vaker gedurende weekdagen en vooral op vrijdag. Het heeft een bijzonder grote spreiding, maar komt gemiddeld uit op een behoorlijk hoog niveau. Het hoogste niveau ligt tussen 20:00 en 0:00. Het laagste tussen 9:00 en 15:00 uur.

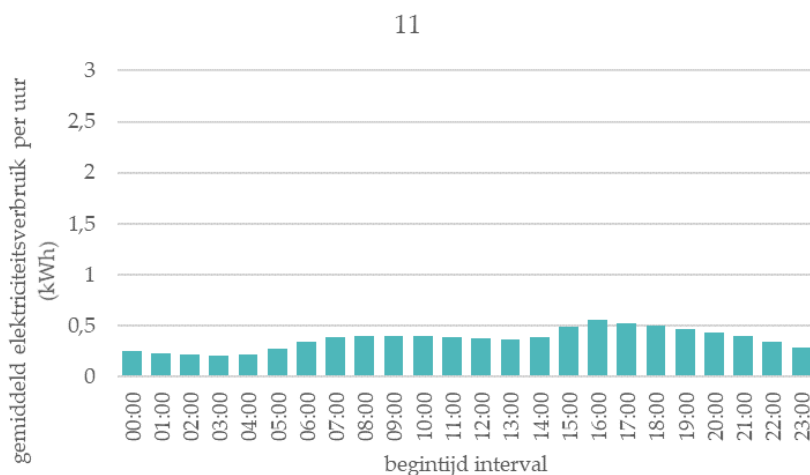


Patroon 10 heeft van de onderscheiden patronen het hoogste verbruiksniveau. Het komt vrijwel alleen voor in het stookseizoen. Gedurende de gehele nacht en ochtend tot 7:00

uur is er een hoog verbruik. De piek ligt tussen 17:00 en 21:00 en het dal tussen 9:00 en 14:00.



Patroon 11 tenslotte heeft weer een laag verbruiksniveau. Het komt vrij vaak voor, zowel in het stookseizoen als daarbuiten en is vaker ook in het weekend dan tijdens weekdays te zien. Ook op vrijdag en in mindere mate op woensdag komt dit patroon wat vaker voor. Het heeft een geringe spreiding. Alleen in patroon 1 is minder spreiding, maar dat heeft over de gehele linie een lager niveau. Het dal van patroon 11 ligt in de nacht, tussen 0:00 en 5:00 uur. De piek wordt tussen 16:00 en 17:00 bereikt, waarna het verbruik gedurende de avond langzaam afneemt.



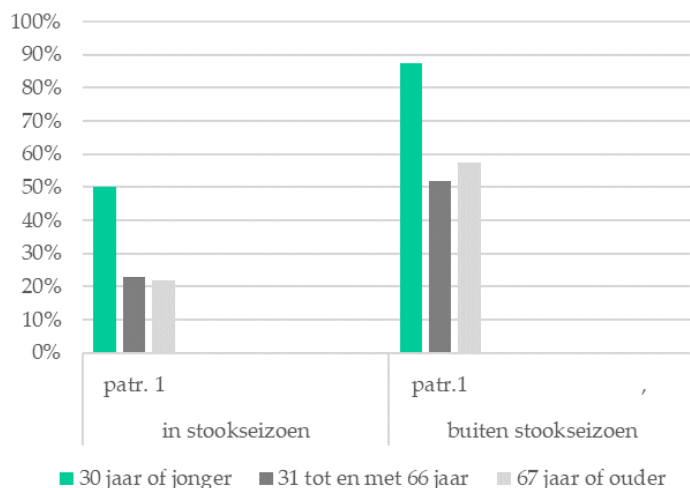
## 4.2 Verschillen tussen huishoudens en woningen

### Samenhang met kenmerken huishoudens

De leeftijd van het huishouden heeft alleen een relatie met het meer voorkomen van patroon 1 – het meest zuinige patroon. Vooral de jongere huishoudens komen hier vaker op uit. In het bijzonder in het stookseizoen is het verschil relatief groot (factor 2,5). Net

als bij aardgas is het aannemelijk dat dit met de mindere aanwezigheid in huis van deze groep te maken heeft.

**Figuur 4-1** Voorkomen patronen elektriciteitsverbruik naar leeftijd

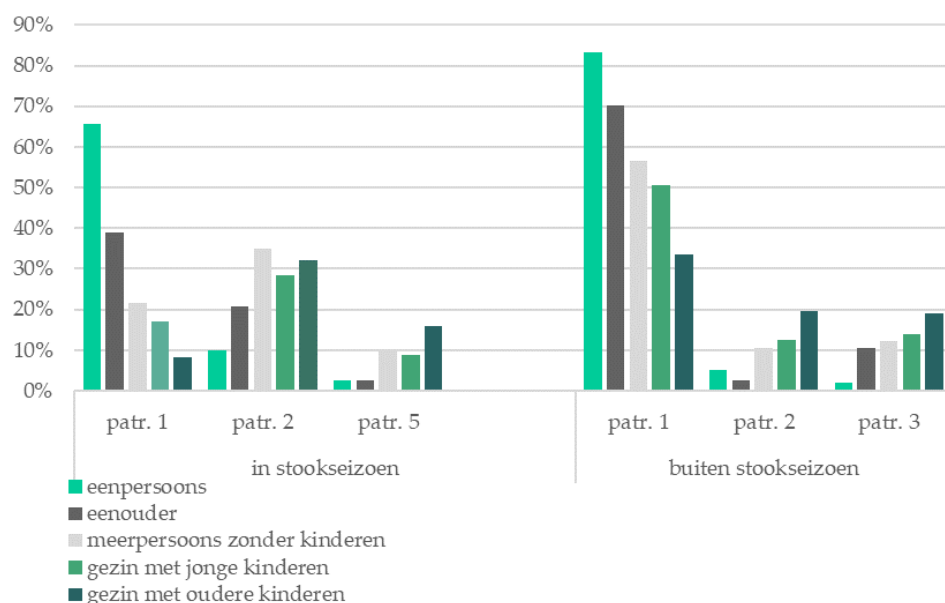


Ook voor het type huishouden zijn er plausibele verschillen (Figuur 4-2). In het bijzonder het voorkomen van patroon 1 – het zuinigste patroon – hangt sterk samen met de grootte van het huishouden. Vooral eenpersoonshuishoudens passen dit vaak toe – in het bijzonder in het stookseizoen - terwijl gezinnen met oudere kinderen dat veel minder vaak doen. De gezinnen met oudere kinderen komen zowel in het stookseizoen als daarbuiten slechts weinig uit op patroon 1. Zij komen vaker uit op de patronen waarbij er ook gedurende de nachtelijke periode en overdag een wat hoger verbruik is. In de zomer komen de gezinnen met oudere kinderen ook vaak uit op patroon 3, dat weliswaar overdag een zeer laag verbruiksniveau heeft, maar dat gedurende de avond en nacht behoorlijk hoog ligt qua elektriciteitsverbruik.

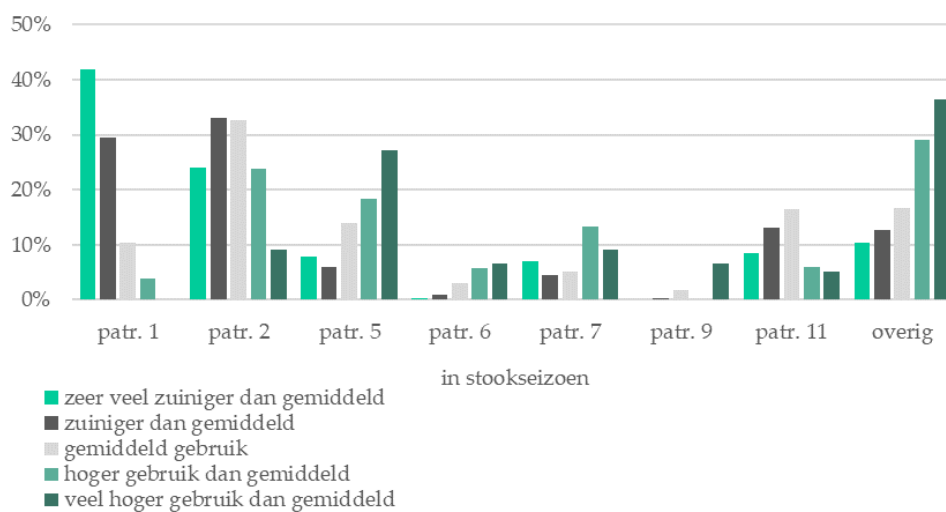
Nog meer dan bij het verbruik van aardgas het geval is, zijn er grote verschillen in de verbruikspatronen voor elektriciteit waar huishoudens op uitkomen die zichzelf beoordelen als zuinig of juist onzuinig in het gebruik van energie. Dat geldt zowel de patronen in het stookseizoen (Figuur 4-3) als daarbuiten (Figuur 4-4). Buiten het stookseizoen komen de zelfbenoemde zuinige huishoudens – geheel conform het eigen oordeel – vrijwel volledig uit op patroon 1, met kleine aandelen voor de – eveneens relatief zuinige - patronen 2, 3 en 11. En naarmate men zichzelf minder zuinig vindt, nemen deze aandelen af. De huishoudens in de steekproef blijken daarmee een goed inzicht te hebben in het eigen energiegedrag; in het bijzonder waar het elektriciteitsverbruik betreft.

In het stookseizoen komen de huishoudens die van zichzelf vinden dat ze een veel hoger dan gemiddeld verbruik hebben, nooit uit op patroon 1. In plaats daarvan is patroon 5 voor deze groep een gebruikelijk patroon (of een van de niet nadere gespecificeerde hoog verbruikspatronen). Buiten het stookseizoen komen bij deze groep huishoudens ook de patronen 7 en 9 vrij veel voor. Patroon 7 is een patroon met een constant hoog elektriciteitsverbruik gedurende het etmaal. Patroon 9 kent grote verschillen in verbruik: overdag laag en 's avonds en 's nachts hoog.

**Figuur 4-2** Voorkomen patronen elektriciteitsverbruik naar type huishouden

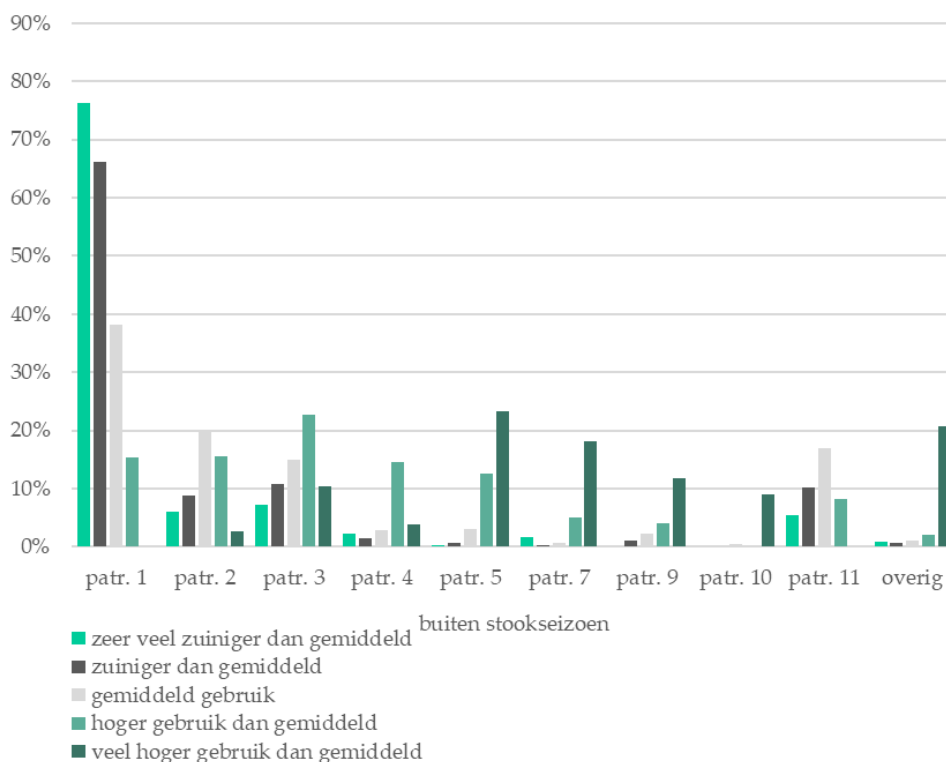


**Figuur 4-3** Voorkomen patronen elektriciteitsverbruik in het stookseizoen naar oordeel over eigen energiezuinigheid



Buiten het stookseizoen komen de zelfbenoemde zuinige huishoudens – geheel conform het eigen oordeel – vrijwel volledig uit op patroon 1, met kleine aandelen voor de – eveneens relatief zuinige - patronen 2, 3 en 11. En naarmate men zichzelf minder zuinig vindt, nemen deze aandelen af. De huishoudens in de steekproef blijken daarmee een goed inzicht te hebben in het eigen energiegedrag; in het bijzonder waar het elektriciteitsverbruik betreft.

Figuur 4-4 Voorkomen patronen elektriciteitsverbruik buiten het stookseizoen naar oordeel over eigen energiezuinigheid



### Samenhang met kenmerken van woningen en installaties

Het voorkomen van de patronen voor elektriciteitsgebruik heeft een vrij sterke relatie met een aantal woningkenmerken en installaties van de woningen. In Tabel 4-3 is per kenmerk weergegeven hoe sterk de samenhang (multivariaat) is en bij welke patronen dit tot uitdrukking komt in een (significant) verschil in het voorkomen ervan.

Tabel 4-3 Samenhang van voorkomen van patronen elektriciteitsgebruik met kenmerken van woningen en installaties

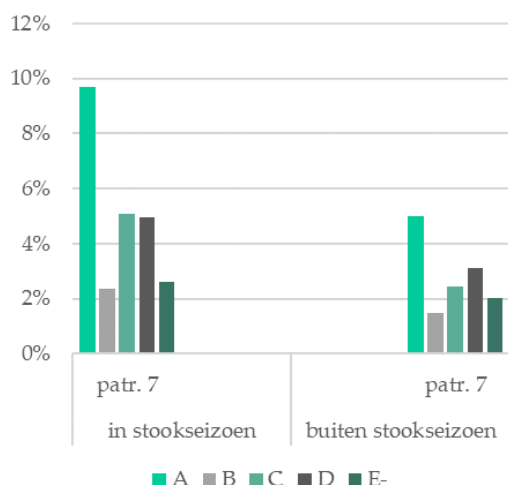
	Multivariaat-effect	patronen waarop significante verschillen zichtbaar zijn											
		in stookseizoen					buiten stookseizoen						
woningtype	2,61	1	2	4	7	11	1	3	9	11			
bouwperiode	0,97												
woninggrootte	4,12	1		4	6	7	10	11	1	3	4	7	9
verliesoppervlak	3,78	1		4	6	7	11	1	3	4			
energielabel	1,15				7							7	
gasketel	8,26	1	2	4	7	9	10	11					
warmtepomp	16,47	1	2	4	7	10	11	1		4	7	10	
hybride warmtepomp	5,59	1	2	5	7								
warmtenet	0,86												
warmtepompboiler	10,99	1	2	4	7	10				4			
zonneboiler	2,92				7	10		2			7		

	Multivariat. effect	patronen waarop significante verschillen zichtbaar zijn								
		in stookseizoenen				buiten stookseizoenen				
zonnepanelen	12,17	2	4	5	11	1	3	5	7	11
zonnepanelen *	11,40	2	4	5	11	1	3	5	7	11
soort meter	2,09	1	4	7		1				

\* alleen voor woningen zonder warmtepomp

In de tabel kan worden gezien dat een aantal kenmerken niet significant samenhangt met het voorkomen van de patronen voor elektriciteitsgebruik. Dat zijn de bouwperiode van de woning en of men warmte geleverd krijgt via een warmtenet. Ook het energielabel heeft slechts een beperkt effect. Er is alleen een relatie met het voorkomen van patroon 7 (een onzuinig patroon met weinig variatie gedurende het etmaal), zowel in als buiten het stookseizoen. Dit patroon komt wat meer voor bij woningen met label A (Figuur 4-5). Het verschil tussen de andere labels is niet significant.

Figuur 4-5 Voorkomen patronen elektriciteitsverbruik naar energielabel van de woning

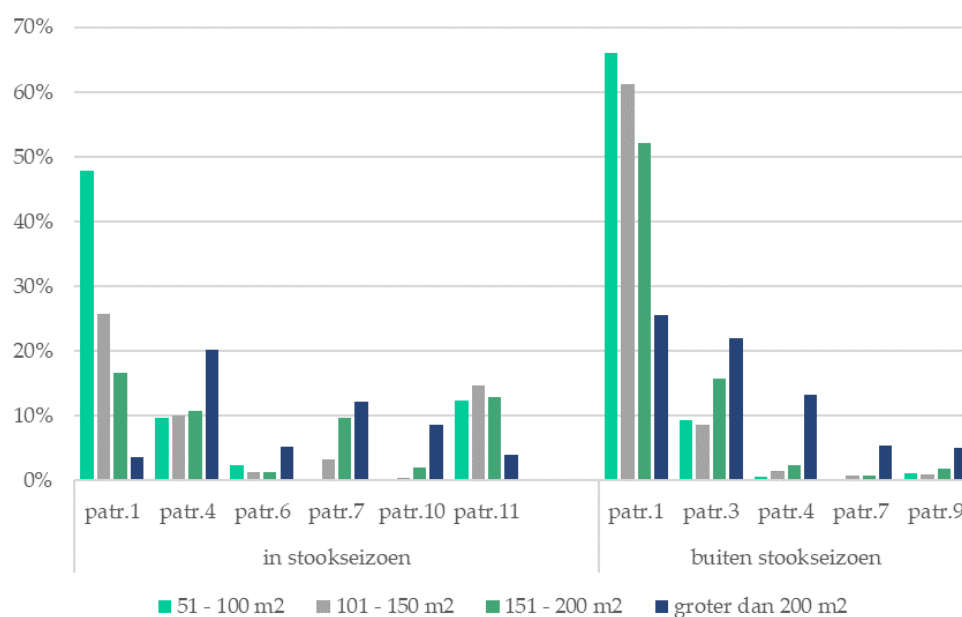


Kenmerken die een sterkere relatie hebben met het voorkomen van de verschillende patronen zijn woningtype, woninggrootte en verliesoppervlak. Die drie hangen met elkaar samen. Het zijn dan ook grotendeels dezelfde patronen die met deze kenmerken variëren. Het verschil in het voorkomen van de patronen wordt voor woninggrootte weergegeven in Figuur 4-6. In de figuur komt naar voren dat het patroon met het laagste verbruik – patroon 1 – duidelijk meer voorkomt in de kleinere woningen, in het bijzonder in het stookseizoen. Aan de andere kant is patroon 1 voor de bewoners van grotere woningen in het stookseizoen – en zelfs daarbuiten - een veel minder gebruikelijk patroon. In het stookseizoen komen de bewoners van grote woningen vaker uit op patroon 4 (gemiddeld niveau, weinig spreiding) en buiten het stookseizoen op patroon 3 (rela-



tief laag niveau, maar wel hoger dan in patroon 1, met een zeer laag niveau in de middag en hoger in de avond en nacht) en 4. Maar buiten het stookseizoen komen de huishoudens in grote woningen ook nog geregeld uit op patronen 7 en 9 (beide met een hoog verbruiksniveau; 9 met veel spreiding en 7 juist met weinig). Voor de huishoudens in kleinere woningen is dat zeer ongebruikelijk. In het stookseizoen komt patroon 7 ook voor bij de bewoners van de woningen tussen de 100 en 200 m<sup>2</sup>. Het is aannemelijk dat al deze samenhangen – meer verbruik in de grotere woningen – samenhangen met het aantal bewoners en met het welvaartsniveau.

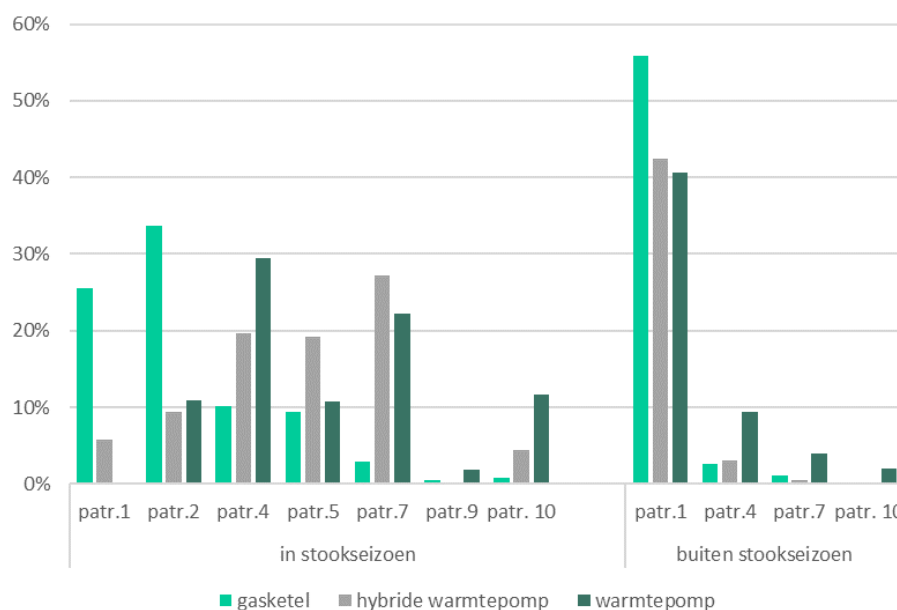
**Figuur 4-6** Voorkomen patronen elektriciteitsverbruik naar woninggrootte



In Tabel 4-3 kan ook worden gezien dat voor een aantal installaties in de woning er een sterke relatie is met het meer of minder voorkomen van de patronen. Dat geldt in het bijzonder voor de warmtepomp en de warmtepompboiler. In Figuur 4-7 is het voorkomen van de verschillende patronen voor elektriciteitsverbruik weergegeven naar type verwarmingsinstallatie. Logischerwijs komen de warmtepomp en de hybride warmtepomp uit op patronen met een hoger elektriciteitsverbruik.

In het stookseizoen is patroon 4, gevolgd door patroon 7, dominant voor de warmtepomp. Zowel patroon 4 als 7 worden gekenmerkt door een relatief hoog verbruiksniveau gedurende de nachtelijke uren. En met een warmtepomp komt ook nog 10% van de gevallen uit op patroon 10; een patroon met een bijzonder hoog niveau van verbruik, in het bijzonder in de avond en nacht. Dit is in nog extremere mate het geval bij patroon 9. Dit komt niet veel voor, maar lijkt wel te zijn verbonden met de all electric warmtepomp. Bij de hybride warmtepomp komt patroon 5 opvallend vaak voor. Bij patroon 5 is juist het verbruik overdag vrij hoog. Maar patroon 4 en 7 zijn ook frequent bij de hybride warmtepomp.

Figuur 4-7 Voorkomen patronen elektriciteitsverbruik naar type verwarmingsinstallatie



De aanwezigheid van zonnepanelen hangt ook samen met de patronen van elektriciteitsverbruik. Deels wordt dit veroorzaakt doordat bij de woningen met zonnepanelen ook vaker een warmtepomp is toegepast en de aanwezigheid daarvan sterk bepalend is voor het elektriciteitsgebruik. Als we alleen kijken naar de woningen zonder warmtepompen, resteert er echter nog steeds een behoorlijk effect voor de aanwezigheid van zonnepanelen (Tabel 4-3).

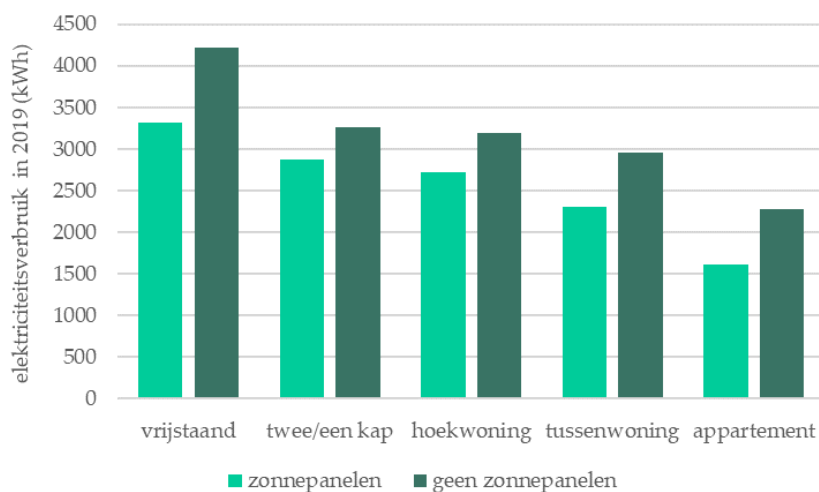
Het blijkt dat patronen 2 en 4 (in stookseizoen) en 1 en 3 (buiten stookseizoen) meer voorkomen bij woningen met zonnepanelen en patronen 5, 7 en 11 meer bij woningen zonder zonnepanelen (Figuur 4-8). Tussen patronen 2 en 4 aan de ene kant en 5 en 11 bestaat niet veel verschil in het verbruiksniveau. Het verschil heeft vooral betrekking op de momenten waarop elektriciteit wordt verbruikt. Bij patronen 2 en 4 (en in sterkere mate bij 1 en 3 buiten het stookseizoen) is het verbruiksniveau overdag relatief laag en bij patronen 5 en 11 is dat het geval gedurende de nacht.

Aan de bezitters van zonnepanelen wordt overdag – wanneer de panelen elektriciteit leveren – relatief weinig elektriciteit geleverd. Hierin is te zien dat de opbrengst van de panelen deels direct wordt gebruikt (teruglevering is in deze vergelijking niet betrokken). Bewoners van woningen zonder zonnepanelen verbruiken echter gedurende de nacht minder elektriciteit. Per saldo is het elektriciteitsverbruik in de woningen met de zonnepanelen – als wordt gecontroleerd voor verschillen in woningtypen – wel beduidend lager dan in de woningen zonder panelen (Figuur 4-9). Omdat zonnepanelen relatief vaak worden toegepast in de grotere, vrijstaande woningen is dit verschil per woningtype groter dan wanneer alle woningen gezamenlijk worden vergeleken.

**Figuur 4-8** Voorkomen patronen elektriciteitsverbruik naar wel/geen zonnepanelen

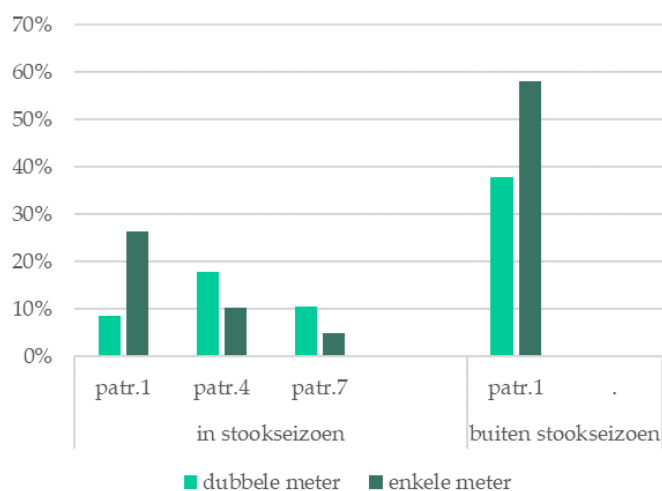


**Figuur 4-9** Elektriciteitsverbruik naar wel/geen zonnepanelen en woningtype (excl. woningen met warmtepompen)



Tot slot is er nog een effect dat samenhangt met de aanwezigheid van enkele of dubbele meters in huis. In woningen met dubbele meters komt patroon 1 minder vaak voor en patronen 4 en 7 (in het stookseizoen) juist vaker. Per saldo ligt het elektriciteitsverbruik dan ook hoger in de woningen met dubbele meters dan in de woningen met enkele meters. En dit verschil blijft bestaan als wordt gecontroleerd voor woningtype (dubbele meters kwamen in de steekproef wat meer voor in de vrijstaande woningen).

Figuur 4-10 Voorkomen patronen elektriciteitsverbruik naar enkele/dubbele meters



### Samenhang met apparaten in huis

Aan de respondenten is gevraagd of zij de beschikking hebben over specifieke apparaten en of zij deze ook hebben gebruikt in de onderzoeksperiode. Als zij daar bevestigend op hebben geantwoord verwerken we dit als ‘aanwezig’. De aanwezigheid van de betreffende apparaten hangt in alle gevallen in meer of mindere mate samen met het voorkomen van de verschillende patronen van elektriciteitsgebruik. In een enkel geval zoals bij een sauna heeft de aanwezigheid slechts een relatie met één patroon. In dit geval is dat patroon 9, een patroon met een zeer grote spreiding: hoog verbruik gedurende de avond en nacht en zeer laag overdag en alleen in de periode buiten het stookseizoen.

De airconditioner en de kokend waterkraan hebben een gemiddeld effect, de wasdroger heeft een flink effect en het bezit van een elektrische auto die vooral thuis wordt opgeladen heeft een bijzonder groot effect. We bespreken en aantal van deze effecten hierna in wat meer detail.

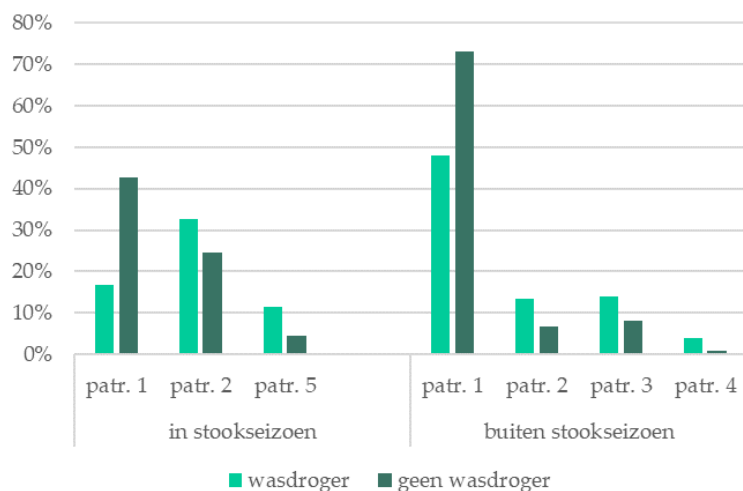
Tabel 4-4 Samenhang van voorkomen van patronen elektriciteitsgebruik met bezit en gebruik van apparaten

	multivariaat effect	Patronen waarop significante verschillen bestaan														
		in stookseizoen					buiten stookseizoen									
elektrische kookplaat	2,02	1	2	7		4										
wasdroger	4,34	1	2	5		1	2	3	4							
kokend waterkraan	2,62	1		7		1		4	5							
sauna	1,76									9						
airconditioner	2,57	1		4		1		3			10					
losse vriezer	2,35	1	2					3								
plug-in auto	20,76	1		4	6	7	8	9	10	11	1	2	4	6	9	11

Voor alle apparaten geldt dat het bezit en gebruik ervan leidt tot patronen van elektriciteitsverbruik die gemiddeld een hoger verbruik met zich meebrengen. Dat betekent

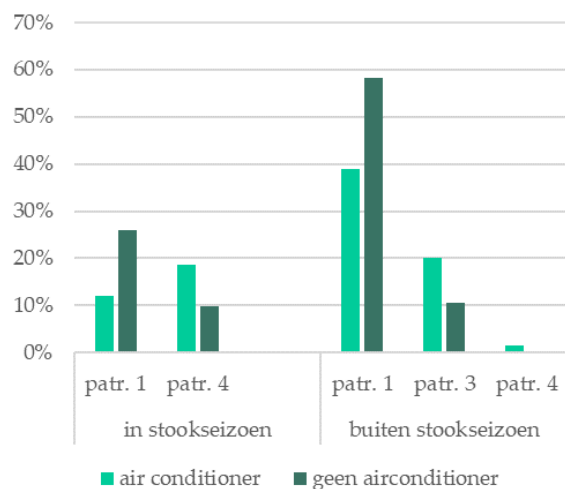
vooral dat patroon 1 minder voorkomt als het apparaat aanwezig is en andere patronen meer. Bij de wasdroger zien we in patroon 2 en 5 in het stookseizoen meer voorkomen. Bij deze patronen is het energiegebruik overdag relatief hoog. Buiten het stookseizoen komen ook patronen 3 en 4 wat meer voor bij bezit van een wasdroger.

Figuur 4-11 Voorkomen patronen elektriciteitsverbruik naar wel/geen wasdroger



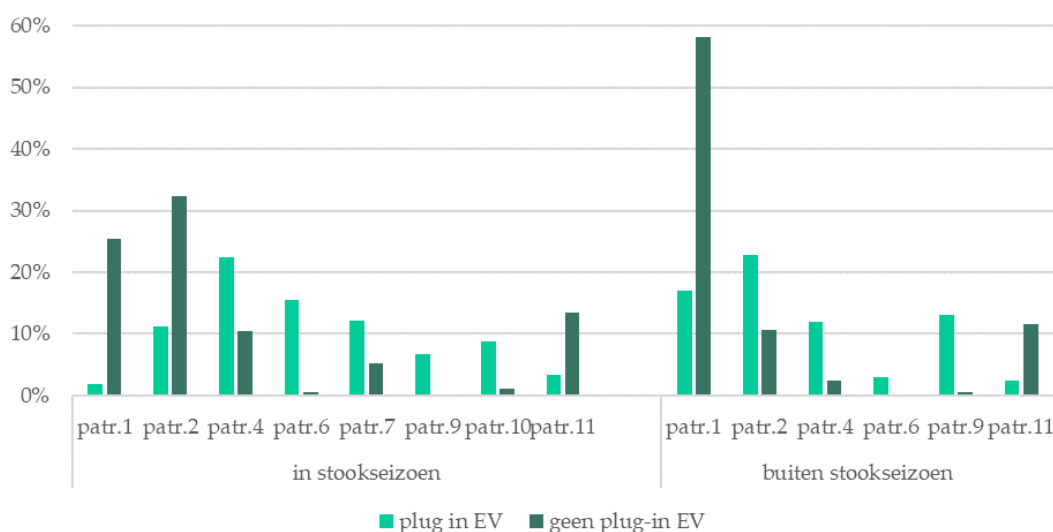
De aanwezigheid van een airconditioner heeft niet alleen in de zomer een effect. Ook in het stookseizoen zijn er verschillen in de mate waarin patroon 1 minder voorkomt en andere patronen meer. De patronen 3 en 4 hebben beide meer verbruik in de avond en nacht dan overdag. Dat kan samenhangen met de aanwezigheid van zonnepanelen in combinatie met de airconditioner maar ook met het moment van gebruik.

Figuur 4-12 Voorkomen patronen elektriciteitsverbruik naar wel/geen airconditioner



De aanwezigheid van een elektrische auto die ook vooral thuis wordt opgeladen heeft een sterke samenhang met de verschillende verbruikspatronen. Voor een deel zal dit inderdaad een directe relatie hebben met het opladen van de elektrische auto, maar het is daarnaast aannemelijk dat er ook een inkomenseffect mee samenhangt. Het bezit van elektrische auto's is vooralsnog immers vooral voorbehouden aan de hogere inkomens. Vooral de patronen 6, 9 en 10 zijn sterk en bijna uitsluitend verbonden met het bezit van elektrische auto's. Dit zijn patronen met een hoog verbruik dat in het bijzonder in de nacht en avond is geconcentreerd.

Figuur 4-13 Voorkomen patronen elektriciteitsverbruik naar wel/geen elektrische auto



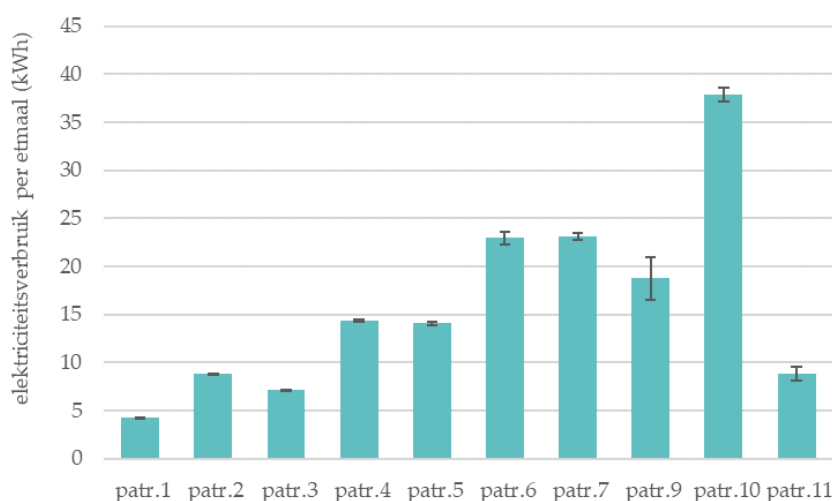
### 4.3 Patronen en elektriciteitsverbruik

De patronen voor elektriciteitsverbruik verschillen van elkaar op meerdere aspecten, zoals de variatie gedurende het etmaal, de plek van de pieken en de dalen en het gemiddelde verbruiksniveau. Dat laatste draagt eraan bij dat er ook een duidelijke relatie is tussen de patronen en het elektriciteitsgebruik per etmaal. Dit wordt per patroon weergegeven in Figuur 4-14. Hierbij moet wel worden bedacht dat het gaat om het gemiddelde verbruik per patroon. Ook binnen eenzelfde patroon kunnen er nog behoorlijke verschillen zijn tussen de onderliggende verbruiken. Het is dan ook niet per se zo dat als bekend is op welk patroon een huishouden uitkomt, er precies bekend is wat er wordt verbruikt. Het is vanzelfsprekend wel een indicatie, maar geen precieze aanduiding. De patronen zijn immers abstracties van het werkelijke verbruik en ook bepaald als gemiddelden in het stookseizoen en daarbuiten. Van dag tot dag kan de variatie binnen die seizoenen alsnog groot zijn. Ook is het niet zo dat een huishouden gemiddeld in het stookseizoen of daarbuiten altijd uitkomt op eenzelfde patroon.

Binnen de groep huishoudens die gemiddeld wel consequent uitkomen op patroon 1 (het patroon met het laagste gemiddelde energieverbruik) is de spreiding in jaarverbruiken nog best aanzienlijk. Het hoogste verbruik binnen deze groep komt uit op 2.000 kWh per jaar en het laagste op 420 kWh. Het laagste verbruik komt op rekening van een eenpersoonshuishouden in een meergezins huurwoning die is aangesloten op een warmtenet. De persoon beschrijft zichzelf als zeer veel zuiniger dan gemiddeld en is in het stookseizoen ook minimaal 3 weken niet thuis geweest. Dit huishouden heeft een elektrische kookplaat, maar bezit verder geen van de (veel) elektriciteit verbruikende apparaten.

Het huishouden dat weliswaar uitkomt op patroon 1, maar toch nog een gemiddeld verbruik heeft, is een huishouden met drie personen in een middelgrote hoekwoning met een gewone gasketel en (8) zonnepanelen. Men beschouwt zichzelf als zuiniger dan gemiddeld en heeft weinig apparaten die veel verbruiken, behalve een airconditioner. Dit huishouden is in het stookseizoen niet langer overwegend thuis geweest.

**Figuur 4-14** Gemiddeld elektriciteitsverbruik per etmaal per verbruikspatroon



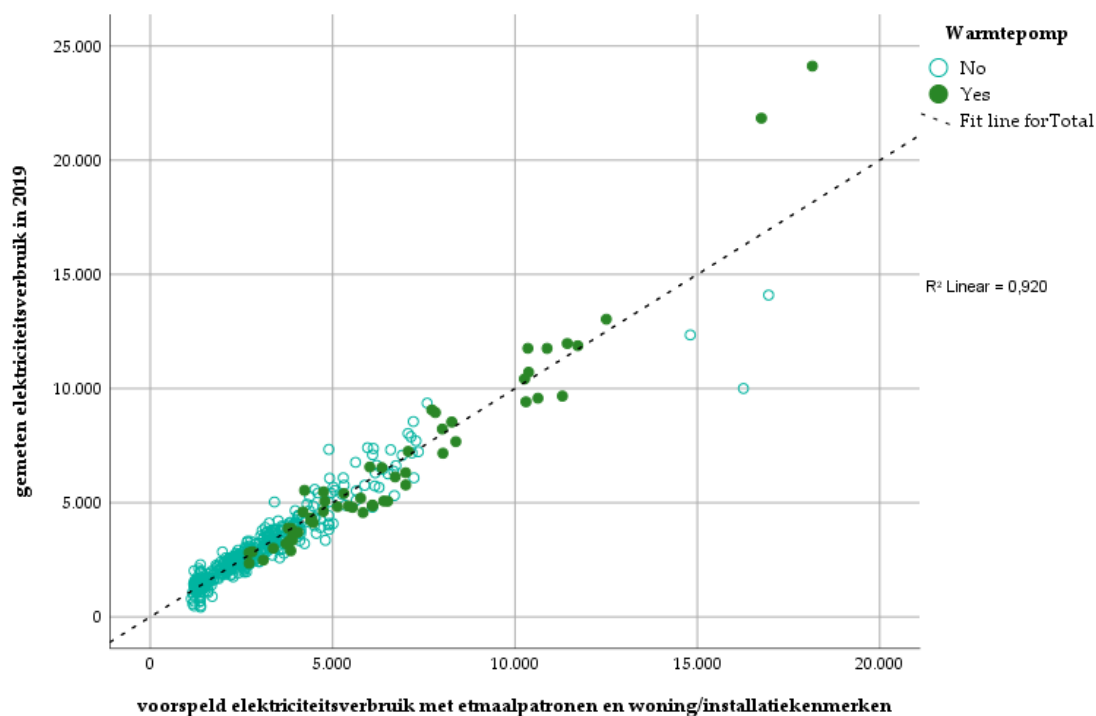
Noot. De verschillen tussen stookseizoenen en niet-stookseizoenen per patroon zijn beperkt en worden daarom niet getoond. Wel zijn sommige patronen vooral verbonden aan een specifiek patroon ( Tabel 4-1).

Er zijn vrijwel geen huishoudens die zowel in het stookseizoen als daarbuiten consequent uitkomen op patroon 7. In het stookseizoen zijn het er de meeste. Het huishouden binnen die groep met het laagste verbruik komt uit op 4.800 kWh per jaar en het huishouden met het hoogste verbruik op 9.000 kWh. Het huishouden met het laagste verbruik in deze groep is een tweepersoons huishouden van middelbare leeftijd dat woont in een middelgrote hoekwoning (koop) met een warmtepomp en zonnepanelen (12). Het huishouden beschouwt zichzelf als zuiniger dan gemiddeld en heeft naast een elektrische kookplaat en een kokend waterkraan (en de warmtepomp), geen andere veel elektriciteit verbruikende apparaten.

Het huishouden binnen de groep die uitkomt op patroon 7 in het stookseizoen en met het hoogste verbruik is een gezinshuishouden van vier personen dat woont in een recent gebouwde, wat grotere hoekwoning (koop). De woning is voorzien van warmtepomp, warmtepompboiler en pv-panelen (21). Het huishouden geeft aan dat het een hoger dan gemiddeld verbruik heeft en beschikt over alle apparaten met een relatief hoog verbruik zoals wasdroger, sauna en elektrische (of hybride plug-in) auto die thuis wordt opgeladen. Buiten het stookseizoen komt het huishouden overwegend uit patroon 4. Het huishouden verbruikt geen gas.

De beschrijvingen geven aan dat er achter elk individueel huishouden een verhaal schuil gaat dat het inzichtelijk maakt waarom het huishouden (overwegend) op een bepaald patroon uitkomt maar ook waarom het binnen dat patroon alsnog een laag of een hoog elektriciteitsgebruik heeft. Toch is met slechts de patronen en een aantal kenmerken van de woningen en installaties (aantal zonnepanelen, bezit wasdroger en bezit warmtepomp) een eenvoudig model te maken dat het werkelijke elektriciteitsverbruik goed voorspelt (Figuur 4-15). In dit model zijn het de patronen gedurende het stookseizoen die het verschil het sterkst bepalen.

Figuur 4-15 Voorspeld en feitelijk elektriciteitsverbruik voor woningen met en zonder warmtepomp

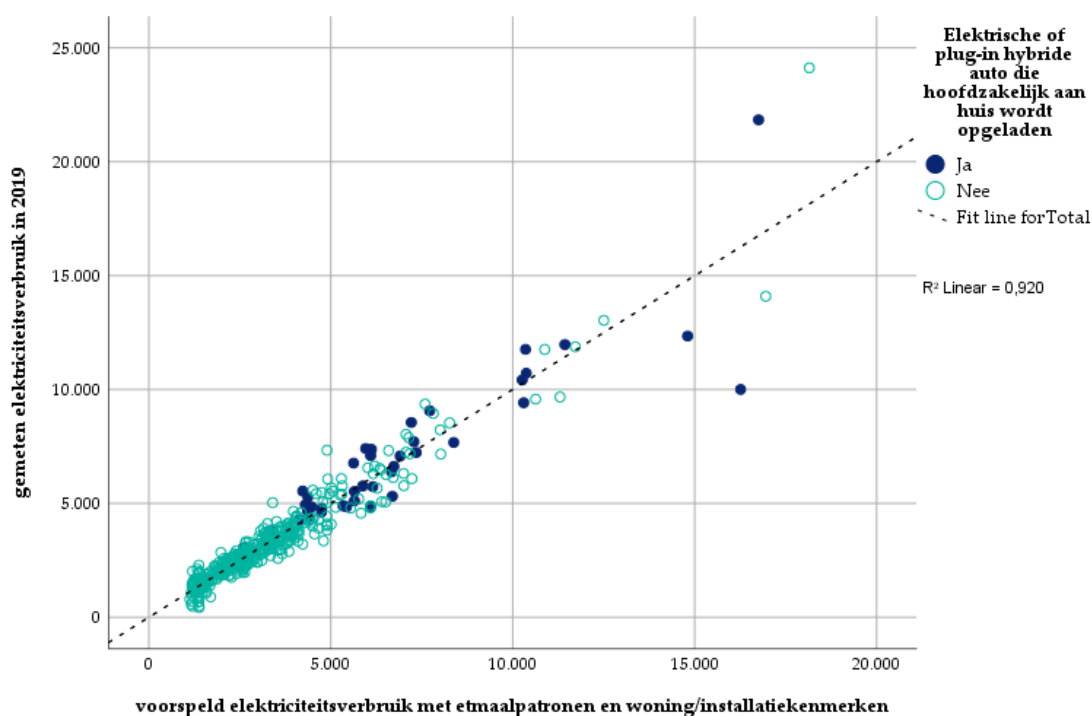


In Figuur 4-15 kan ook goed worden gezien dat alleen met woning- of installatiekenmerken het niet goed mogelijk is om het elektriciteitsverbruik goed te voorspellen. Zo draagt de aanwezigheid van een warmtepomp bij aan een hoger elektriciteitsverbruik,



maar in de figuur is ook te zien dat de verschillen tussen de woningen met een warmtepomp nog steeds opvallend groot zijn. Dat geldt ook voor bijvoorbeeld een elektrische auto die thuis wordt opgeladen (geen modelvariabele). De huishoudens met zo'n auto zitten alle bovenin het spectrum van elektriciteitsverbruik, maar de variatie is ook hier nog steeds groot.

Figuur 4-16 Voorspeld en feitelijk elektriciteitsverbruik voor huishoudens met en zonder elektrische auto die hoofdzakelijk thuis wordt opgeladen



## 5 Vergelijking resulterende etmaalpatronen

### 5.1 Werkwijze

#### (Pakketten van) maatregelen

In dit hoofdstuk verkennen we de verschillen binnen en tussen etmaalpatronen in relatie tot (pakketten van) ‘maatregelen’ die zijn getroffen in woningen. We gaan daarbij niet uit van ‘fixed’ verbruikspatronen zoals in het vorige hoofdstuk, maar van ‘resulterende’ patronen als (pakketten van) maatregelen worden vergeleken. De verbruikspatronen in dit hoofdstuk betreffen het totale energiegebruik (gas en elektriciteit samen). Met maatregelen bedoelen we de uitrusting en inrichting van de woning.

Het is bij dit type vergelijkingen belangrijk om de groepen woningen op andere kenmerken dan waartussen wordt vergeleken steeds zo vergelijkbaar mogelijk te maken. Waar dat niet kan, moet duidelijk worden waartussen dan wel wordt vergeleken. Dus, stel dat een verschil tussen woningen met en zonder panelen ook samenhangt met een verschil tussen vrijstaande en rijwoningen, dan is het niet mogelijk om een gevonden verschil in energiegebruik alleen toe te schrijven aan de zonnepanelen, maar moet duidelijk zijn dat het gaat om een verschil tussen vrijstaande woningen met zonnepanelen en rijwoningen zonder zonnepanelen. Idealiter zouden we echter vergelijken tussen verschillende woningtypen met en zonder zonnepanelen, waarbij bijvoorbeeld wordt gecontroleerd voor bijvoorbeeld het oppervlak van de zonnepanelen, de isolatiewaarde van de woning, de wijze waarop de woning wordt verwarmd, het aantal personen in een huishouden en de grootte van de woning.

In de analyses in dit hoofdstuk proberen we steeds zo precies mogelijk weer te geven op welke kenmerken de groepen die we vergelijken verschillen. Dat betreft de pakketten van maatregelen, maar ook de andere kenmerken die van invloed zijn zoals de overige kenmerken van de woningen en de huishoudens.

Elke vergelijking van maatregelen zal worden voorafgegaan door een afbakening van de gehanteerde definitie van de maatregel waaruit de beperkingen kunnen worden herleid.

#### Analyses

De analyses worden uitgevoerd met een variantieanalyse waarbij de meetpunten in het etmaalpatroon worden beschouwd als herhaalde metingen (within subjects effects) en de maatregelen als groepsverschillen (between subjects effects). Continue variabelen waarvoor wordt gecontroleerd, worden als covariaat meegenomen in de analyses. Discrete variabelen worden als between subjects factor (fixed effects) in de analyse opgenomen. Om duidelijk te maken op welke manier de patronen van energiegebruik variëren,

worden de patronen van energiegebruik ook feitelijk met behulp van figuren in beeld gebracht.

Met de patronen van energiegebruik kan inzichtelijk worden gemaakt op welke momenten van de dag de grootste verschillen ontstaan tussen groepen. Om hier meer betekenis aan te geven wordt daarbij gebruik gemaakt van betrouwbaarheidsintervallen. We gaan steeds uit van het 95% betrouwbaarheidsinterval; de range waarbinnen met 95% zekerheid kan worden gesteld dat het gemiddelde energiegebruik van een groep zich bevindt. Als er veel variatie is binnen een groep in verhouding tot het aantal waarnemingen waarop het gemiddelde is gebaseerd<sup>5</sup> ontstaan brede betrouwbaarheidsintervallen (met dus een onnauwkeurige gemiddelde) en als er weinig variatie is in relatie tot het aantal waarnemingen, zijn de betrouwbaarheidsintervallen 'smal' (waarbij het dus vrij zeker is dat het gemiddelde op een bepaalde waarde ligt). Als de betrouwbaarheidsintervallen van twee groepen die worden vergeleken overlappen, is het verschil (op het betreffende meetpunt) niet significant. Als de betrouwbaarheidsintervallen van verschillende meetpunten binnen een groep overlappen, zijn de verschillen tussen die meetpunten ook niet significant. Er kunnen dus steeds twee typen vergelijkingen worden gemaakt:

- Op welke momenten gedurende een etmaal zijn er verschillen in energiegebruik binnen een groep?
- Op welke momenten gedurende een etmaal zijn er verschillen in energiegebruik tussen verschillende groepen?

Ter illustratie van deze vergelijkingen en van het effect van terugleveringen worden in navolgende figuren de gemiddelde patronen van energiegebruik in een etmaal in het stookseizoen en erbuiten weergegeven. In figuur 5-1 wordt het verloop van energiegebruik weergegeven zonder teruglevering, in figuur 5-2 inclusief teruglevering.

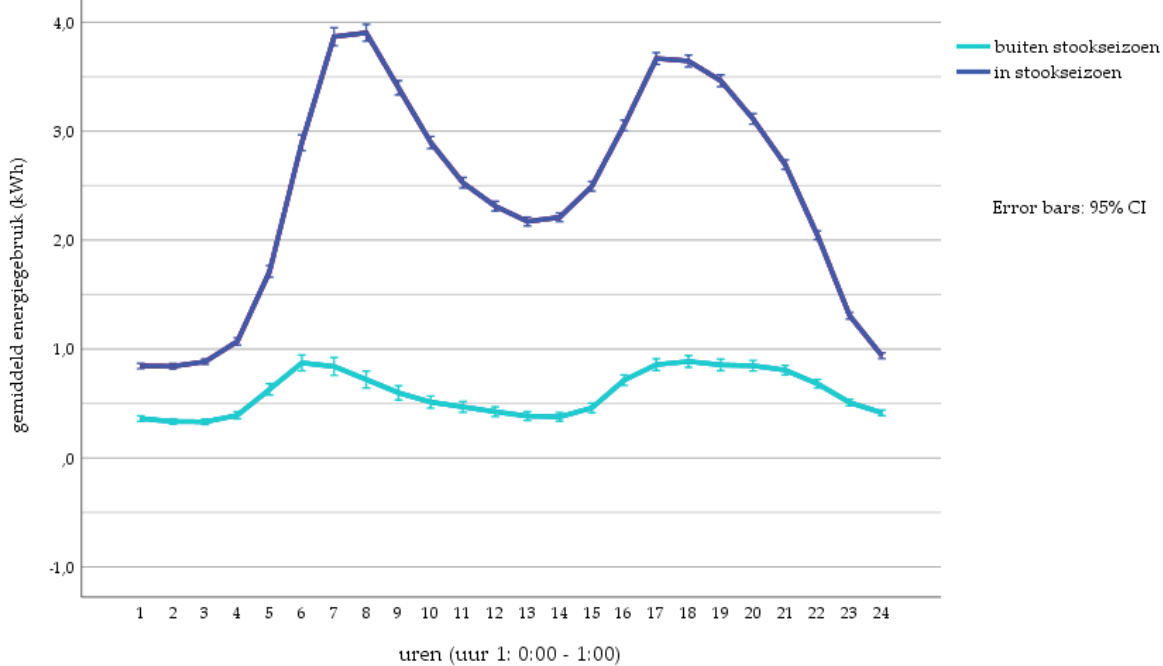
Zowel binnen de patronen (tussen 7:00 en 9:00 uur 's ochtends wordt er gemiddeld veel meer energie gebruikt dan tussen bijvoorbeeld 12:00 en 15:00 uur 's middags) als tussen de patronen (meer energiegebruik in stookseizoen dan buiten stookseizoen) zijn er significante verschillen in energiegebruik. Daarnaast laat vergelijking tussen figuur 5-1 en figuur 5-2 zien dat het meenemen van teruglevering de amplitude in het energiegebruik vergroot, vooral buiten het stookseizoen. De pieken in energiegebruik (globaal tussen 7:00 en 9:00 's ochtends en tussen 17:00 en 21:00 's avonds) blijven ongeveer even hoog, maar vooral overdag ontstaat een dieper 'dal', dat buiten het stookseizoen in deze steekproef in een netto negatief energiegebruik resulteert. Daarbij is het relevant nog eens te benadrukken dat de steekproef niet representatief is. Ongeveer driekwart van de huishoudens in de steekproef beschikt over pv-panelen. Het effect van het meenemen

---

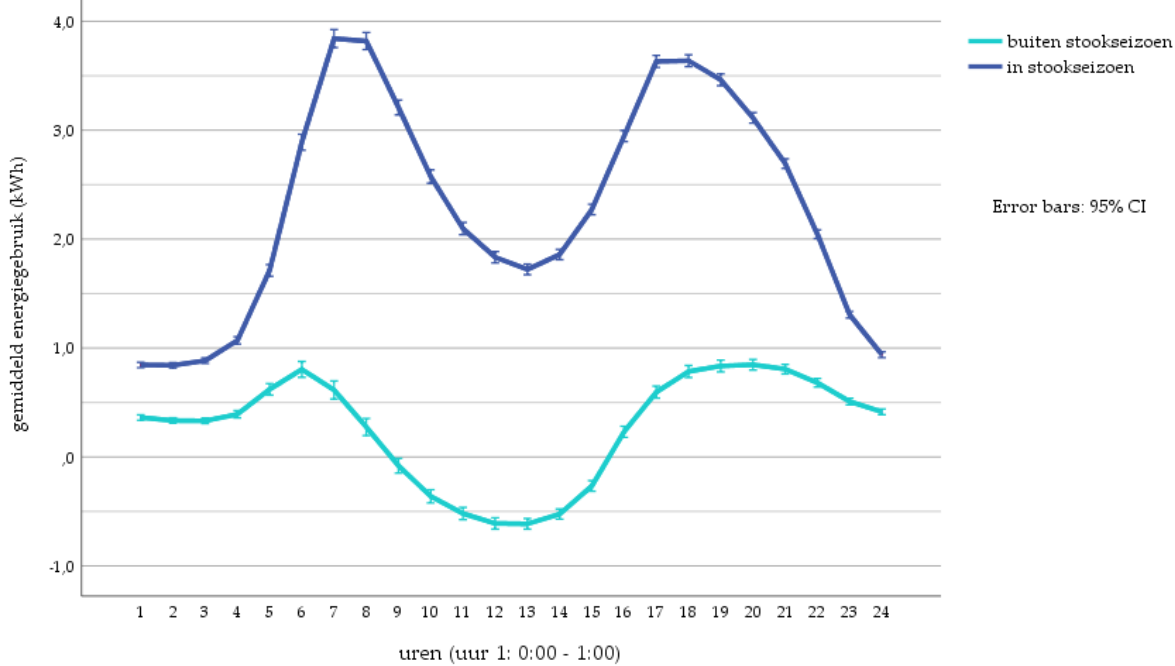
<sup>5</sup> Het betrouwbaarheidsinterval komt tot stand als de verhouding tussen de standaard deviatie van de geobserveerde waarden (die geeft aan hoe groot de verschillen zijn binnen de steekproef) en (de wortel van) het aantal observaties:  $S/\sqrt{N}$ . Dus, hoe kleiner de standaard deviatie en hoe groter de N, hoe 'smaller' het betrouwbaarheidsinterval en hoe eerder er sprake is van significante verschillen, oftewel verschillen die waarschijnlijk niet 'toevallig' zijn.

van teruglevering in de vergelijking is daarmee logischerwijs groot. Op het verschil in patronen van woningen met en zonder pv-panelen komen we hierna nog terug.

figuur 5-1 Patroon energiegebruik in/buiten stookseizoenen, exclusief teruglevering



figuur 5-2 Patroon energiegebruik in/buiten stookseizoenen, inclusief teruglevering



## 5.2 Isolatiegraad

Een belangrijke maatregel is de isolatiewaarde van de woning. De Rc-waarde die deze isolatiewaarde weergeeft, is in de regel niet bekend (en ook niet in het bestand waar we hier mee werken). Er kan dus alleen een inschatting worden gemaakt van de isolerende waarde van de constructie. Om die inschatting te maken, zijn vanuit de enquête die is gehouden onder de huishoudens waarvoor slimme-meterdata beschikbaar is de volgende gegevens beschikbaar:

- Aanwezigheid dubbel glas (ja, in de hele woning/ja in de verwarmde ruimten/nee);
- Aanwezigheid spouwmuurisolatie in bestaande muur (ja/nee);
- Aanwezigheid spouwmuurisolatie in nieuwe muur (ja/nee);
- Aanwezigheid gevelisolatie zijnde isolatie tegen de muur aangebracht aan binnen- of buitenkant i.p.v. in de muur (ja/nee);
- Aanwezigheid dakisolatie (ja/nee);
- Aanwezigheid vloerisolatie (ja/nee);
- Bouwperiode van de woning;
- (geschat) energielabel.

Een beperking van de gegevens is dat de kwaliteit van de isolatie niet bekend is, maar alleen of er wel/geen isolatie is. Ook is niet bekend in welke bouwdelen de isolatie aanwezig is en of dat het de gehele woning geldt (hiervoor is er alleen bij dubbel glas een indicatie). Een derde beperking is dat in het bijzonder bij de vraag naar de aanwezigheid van spouwmuurisolatie in een nieuwe muur niet duidelijk is, als er 'nee' wordt geantwoord, of dat is omdat er geen nieuwe muur is of dat een nieuwe muur niet geïsoleerd is. Daarnaast zijn er andere manieren om gevels te isoleren dan alleen met spouwmuurisolatie of met panelen aan de binnen/buitenkant. Denk daarbij bijvoorbeeld aan houtskeletbouw, waarbij geen sprake is van een spouw, maar waarbij isolatiemateriaal tussen de houten draagstructuur wordt geplaatst. Dit komt er vermoedelijk in tot uiting dat de som van het aandeel woningen dat na 2011 is gebouwd en gevelisolatie heeft of spouwmuurisolatie kleiner is dan 100% (zie Tabel 5-1).

Daarnaast zijn er ook andere onwaarschijnlijke combinaties. Zo is het niet aannemelijk dat een eengezinswoning label A heeft (of na 2011 is gebouwd), terwijl er geen dak- of vloerisolatie in is aangebracht. Het is echter onbekend of het label dan verkeerd is opgegeven/ingeschat of dat de respondent simpelweg onbekend is met de aanwezigheid van de isolatie. Dat soort onzekerheden maakt dat het op basis van enquêtegegevens nooit mogelijk is om een 100% juiste inschatting van de isolatiegraad te maken. Het gevolg daarvan is dat er variatie blijft bestaan die bijdraagt aan een minder goede inschatting van het effect van isolatie. Immers, woningen mét een goede isolatie kunnen hierdoor ten onrechte worden ingedeeld in een groep met een slechte isolatie en omgekeerd.

Tabel 5-1 Aandeel 'geïsoleerd' naar bouwperiode en (geschat) energielabel in de eengezinswoningen in de steekproef

bouwperiode	dubbel glas gehele woning	dubbel glas verwarmde ruimten	spouwmuurisolatie (bestaand)	spouwmuurisolatie (nieuw)	Gevelisolatie	Dakisolatie	Vloerisolatie
Voor 1946	70%	19%	44%	20%	35%	81%	61%
1946 - 1970	86%	10%	79%	26%	7%	75%	56%
1971 - 1990	84%	12%	79%	17%	7%	70%	66%
1991 - 2011	92%	4%	88%	15%	10%	92%	85%
Na 2011	99%	0%	66%	26%	30%	98%	95%
(geschat) energielabel							
E-	67%	20%	43%	23%	19%	65%	47%
D	74%	14%	58%	12%	15%	65%	52%
C	83%	12%	76%	16%	9%	72%	56%
B	86%	9%	83%	21%	12%	80%	75%
A	94%	4%	79%	22%	18%	94%	89%

We maken de inschatting van de isolatiewaarde van de woning op basis van het voorkomen van de verschillende aspecten van isolatie én de bouwperiode. We kennen een punt toe aan de aanwezigheid van de volgende vormen van isolatie:

- Dubbel glas in de gehele woning;
- Spouwmuurisolatie of gevelisolatie;
- Dakisolatie;
- Vloerisolatie.

Er kunnen dan 0 (geen van de vormen van isolatie aanwezig) tot en met 4 punten (alle bouwdelen geïsoleerd) worden gescoord. Woningen die na 2011 zijn gebouwd, waarden we altijd met 4 punten. De meeste woningen in de steekproef (54%) zijn volledig geïsoleerd (4 punten). Slechts 7% heeft een score 0 of 1. Om die reden maken we een driedeling:

1. Weinig geïsoleerd (score 0-2) – 21% van de eengezinswoningen in de steekproef
2. Deels geïsoleerd (score 3) - 25% van de eengezinswoningen in de steekproef
3. Geheel geïsoleerd (score 4) - 54% van de eengezinswoningen in de steekproef

Een vergelijking van energiegebruik tussen woningen op basis van deze isolatiegraad is alleen mogelijk als deze groepen niet van elkaar verschillen op andere (vanuit de vragenlijst bekende) sleutelvariabelen. Daartoe rekenen we:

- Aantal personen in het huishouden (proxy voor gebruik van apparaten)
- Leeftijd oudste bewoner (proxy voor temperatuurinstelling)

- Wijze van verwarming
- Aanwezigheid zonnepanelen (opbrengst wordt in mindering gebracht op energiegebruik)
- Verliesoppervlak (proxy voor potentieel warmteverlies en daarmee voor het benodigde vermogen voor verwarming)
- Grootte van de woning (proxy voor benodigd vermogen voor verwarming)
- Aanwezigheid bijzondere apparaten i.r.t. elektriciteitsverbruik (in het bijzonder een elektrische auto die thuis wordt opgeladen (11%), een kokend waterkraan (25%), air conditioner (20%) en een sauna (5%).

De woningen, verdeeld in de drie isolatiegroepen, blijken op een aantal sleutelvariabelen van elkaar te verschillen. Meer in het bijzonder gaat het dan om:

- Leeftijd oudste bewoner (< 30 jaar meer in de weinig geïsoleerde woningen (7% vs. 2% in de geheel geïsoleerde woningen), > 60 wat meer in de deels geïsoleerde woningen (33% vs. 25% in de geheel geïsoleerde woningen) en 30-60 jaar iets meer in de geheel geïsoleerde woningen (73% vs. 65% in de deels geïsoleerde woningen).
- Aantal leden huishouden: 17% van de huishoudens in weinig geïsoleerde woningen is eenpersoons versus 7% in de geheel geïsoleerde woningen).
- Wijze van verwarming (verwarmingsketel op gas wat vaker in weinig geïsoleerde woningen (85% vs. 70% in geheel geïsoleerde woningen); warmtepomp vaker in geheel geïsoleerde woningen (20% vs. 5% in weinig geïsoleerde woningen), hybride gasketel vaker in geheel geïsoleerde woningen (8% vs. 2% in weinig geïsoleerde woningen)
- Zonnepanelen (vaker in woningen die geheel geïsoleerd zijn (80% van de geheel geïsoleerde woningen en 56% van de weinig geïsoleerde woningen). En als er zonnepanelen zijn geplaatst, zijn dat er in de geheel geïsoleerde woningen gemiddeld genomen meer dan in de weinig geïsoleerde woningen (17,5 vs. 14,8)
- Verliesoppervlak/woningtype: 22% van de weinig geïsoleerde woningen heeft vier gevels (vrijstaand) vs. 38% van de deels en geheel geïsoleerde woningen. Weinig geïsoleerde woningen zijn vaker tussenwoningen (2 gevels) dan de beter geïsoleerde woningen (36% vs 20%).
- Woninggrootte: weinig geïsoleerde woningen zijn vaak wat kleiner (23% < 100 m<sup>2</sup> vs. 10% bij de geheel geïsoleerde woningen) en beter geïsoleerde woningen zijn vaak wat groter (50% > 150 m<sup>2</sup> vs 32% bij de weinig geïsoleerde woningen).
- Aanwezigheid bijzondere apparaten: in de geheel geïsoleerde woningen wordt vaker gebruik gemaakt van een elektrische kookplaat, een wasdroger (geen groot verschil, wel significant), een kokend waterkraan en een elektrische of plug-in hybride auto.

Al met al zijn er dus veel verschillen tussen woningen die geheel en die weinig geïsoleerd zijn die mede van invloed zijn op het energiegebruik in die woningen, maar die op zichzelf onafhankelijk zijn van de isolatie van de woningen. Een aantal van die verschillen geeft aanleiding tot meerverbruik in de geheel geïsoleerde woningen en een aantal juist tot minder energiegebruik. We vatten ze nog eens samen in Tabel 5-2.

**Tabel 5-2 Kenmerken van geheel geïsoleerde woningen vergeleken met deels of weinig geïsoleerde woningen die samenhangen met meer/minder energiegebruik**

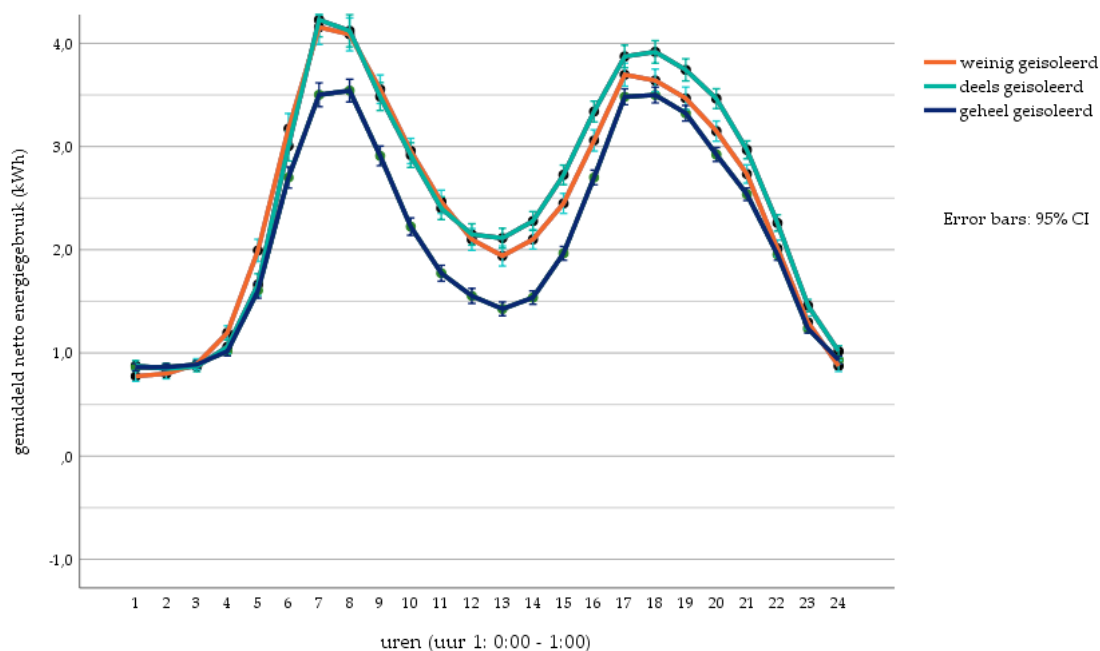
Meer energiegebruik door:	Minder energiegebruik door:	Onzeker
Samenstelling huishouden	Zonnepanelen	Wijze van verwarmen (vaker warmtepomp)
Verliesoppervlak/woningtype		
Woninggrootte		
Meer apparaten die relatief veel energie gebruiken		

Afgezien van de zonnepanelen verschillen geheel geïsoleerde woningen en hun bewoners van de weinig geïsoleerde (gemiddeld genomen) op een manier die ervoor zorgt dat er (gemiddeld genomen) meer energiegebruik mag worden verwacht in deze woningen dan in de weinig geïsoleerde woningen. Oftewel, de andere kenmerken van de geheel geïsoleerde woningen verminderen naar alle waarschijnlijkheid het effect van de isolatiegraad op het energiegebruik. De deels geïsoleerde woningen zitten op de meeste kenmerken tussen beide andere typen in. Alleen voor wat betreft de leeftijd van de bewoners is dat niet het geval. In de deels geïsoleerde woningen wonen relatief veel ouderen, wat in de regel een indicatie is voor meer energiegebruik t.b.v. verwarming.

Een directe vergelijking van het netto energiegebruik (waarbij terugleveringen zijn meegenomen) in woningen met een verschillende isolatiegraad laat zien dat ondanks de overige kenmerken van de volledig geïsoleerde woningen, het energiegebruik er in het stookseizoen lager is dan in de woningen met minder isolatie (Figuur 5-3). Het energiegebruik in het stookseizoen is in de deels geïsoleerde woningen (vooral in de middag en avond) het hoogst. Dat zou ermee te maken kunnen hebben dat de bewoners van de deels geïsoleerde woningen vaker ouderen zijn terwijl de bewoners van de weinig geïsoleerde woningen vaker eenpersoonshuishoudens zijn waardoor zowel de aanwezigheid in huis als gebruik van verwarming in beide groepen woningen kan verschillen.

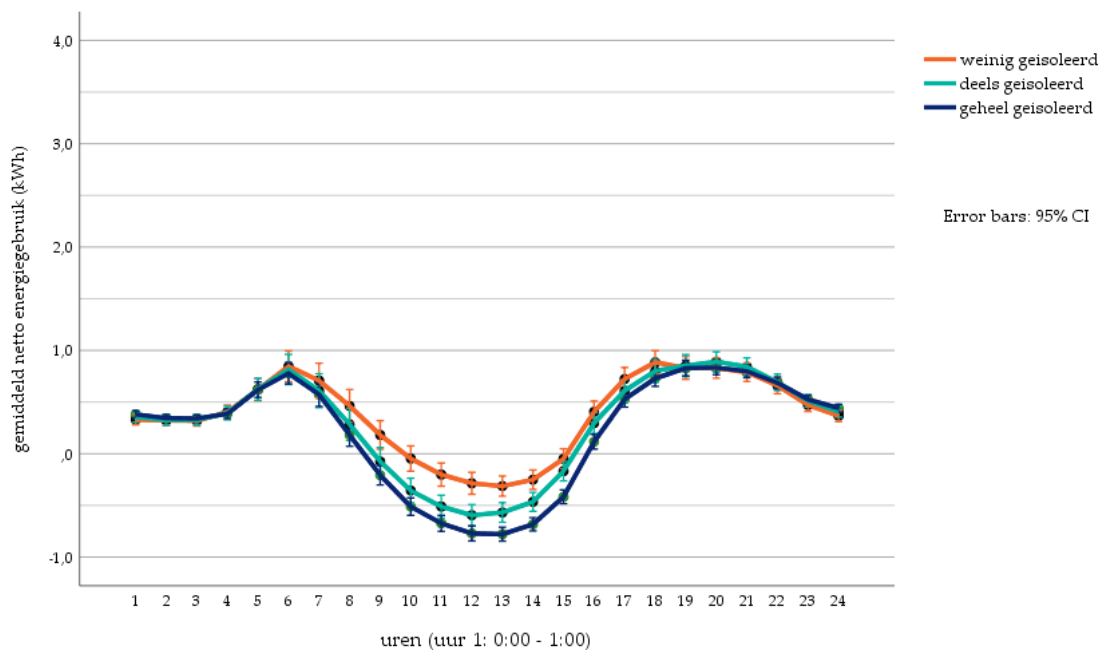


Figuur 5-3 Netto energiegebruik in het stookseizoen naar isolatiegraad



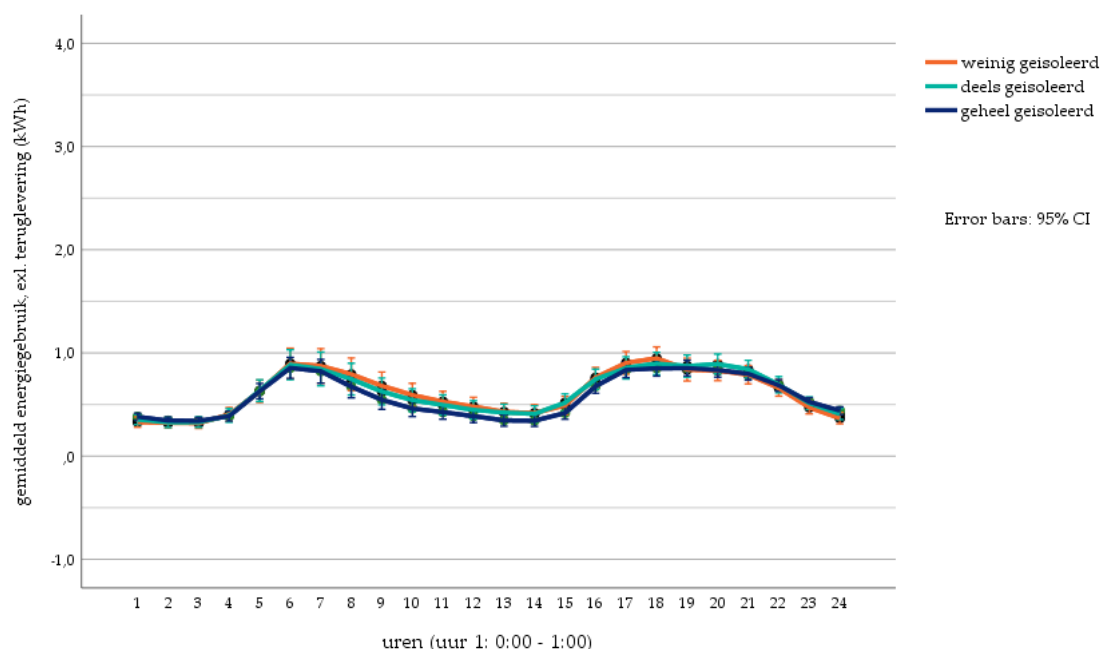
Buiten het stookseizoen wordt in de weinig geïsoleerde woningen de meeste energie gebruikt, vooral overdag, terwijl het energiegebruik het laagst is in de geheel geïsoleerde woningen (Figuur 5-4).

Figuur 5-4 Netto energiegebruik buiten het stookseizoen naar isolatiegraad



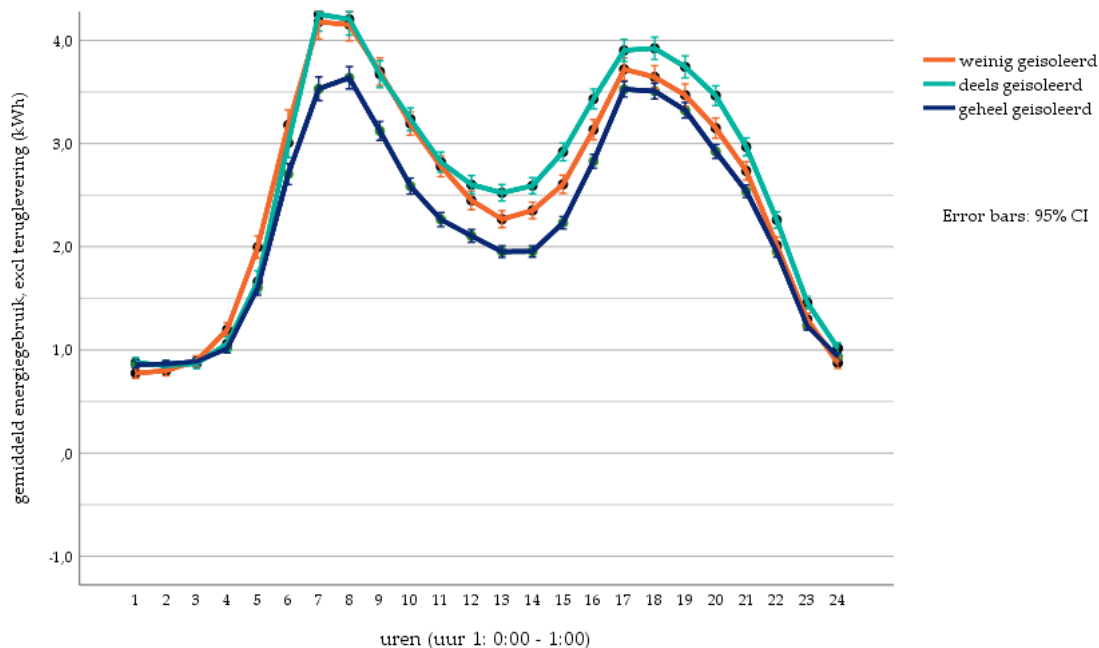
In deze verschillen is - vooral buiten het stookseizoen – ook het verschil in aanwezigheid van zonnepanelen terug te zien. De weinig geïsoleerde woningen hebben gemiddeld genomen immers de minste zonnepanelen en de geheel geïsoleerde woningen juist veel. Als de teruglevering niet wordt meegenomen in het energiegebruik, zijn de verschillen in energiegebruik tussen de woningen met meer of minder isolatie buiten het stookseizoen niet significant (Figuur 5-5). Daarbij moet overigens wel worden bedacht dat het directe gebruik van de pv-panelen nog altijd is verdisconteerd in het energiegebruik. Als dat ook buiten beschouwing zou worden gelaten is het energiegebruik vermoedelijk hoger in de geheel geïsoleerde woningen als gevolg van bijvoorbeeld het ermee samenhangende grotere apparatenbezit in die woningen.

**Figuur 5-5** Energiegebruik, exclusief teruglevering, buiten het stookseizoen naar isolatiegraad



In het stookseizoen zijn de verschillen tussen de isolatiegraden nog wel significant als de teruglevering buiten beschouwing wordt gelaten, maar ze zijn wel iets kleiner dan met teruglevering (Figuur 5-6). De geheel en deels geïsoleerde woningen profiteren dus duidelijk van de teruglevering door de pv-panelen, maar – zoals zou mogen worden verwacht – minder in het stookseizoen dan erbuiten.

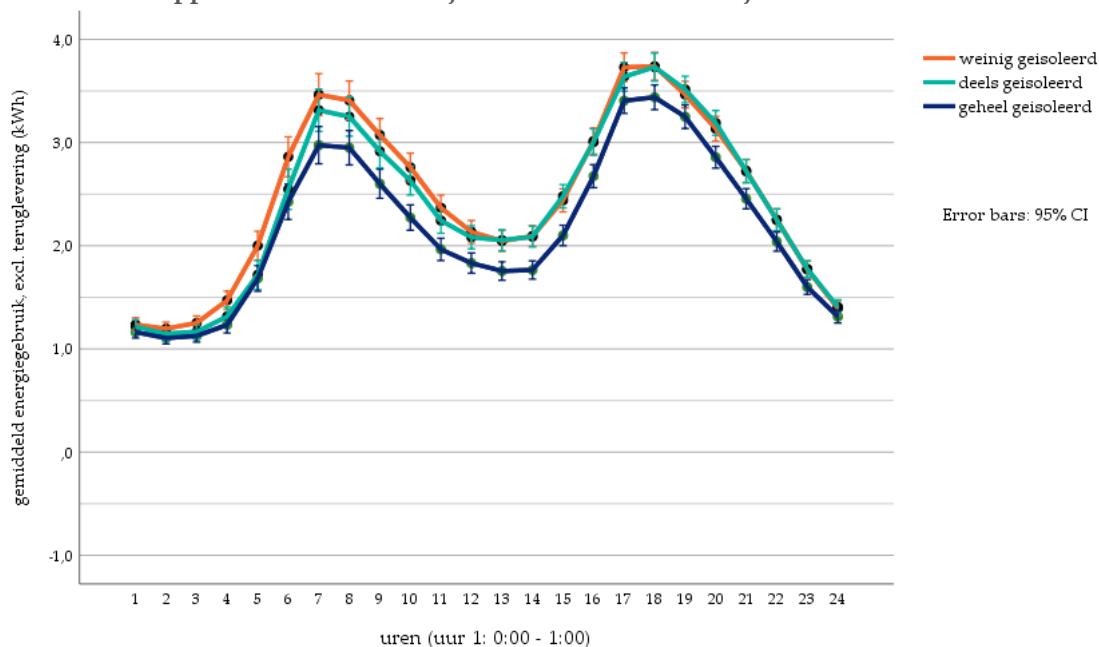
Figuur 5-6 Energiegebruik (excl. teruglevering) in het stookseizoen naar isolatiegraad



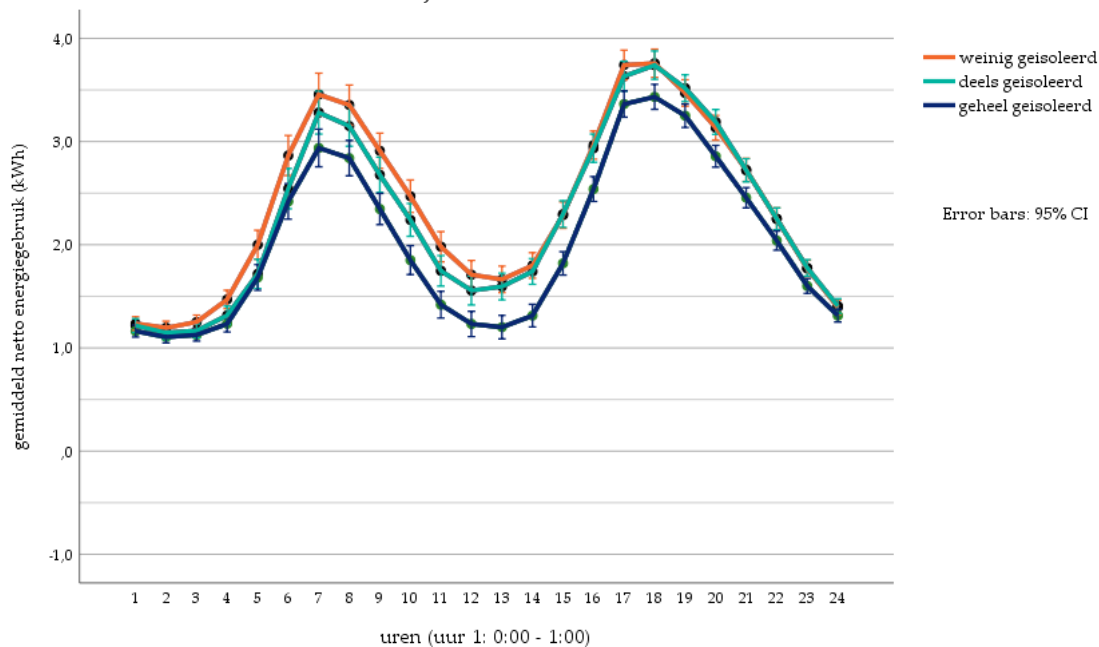
Zoals in Tabel 5-2 is aangegeven, zijn er de nodige kenmerken van de geheel (en deels) geïsoleerde woningen die meerverbruik juist in die woningen aannemelijk maken. Het is tot op zekere hoogte mogelijk om daar statistisch voor te corrigeren. Het nadeel ervan is echter dat een dergelijke correctie ook leidt tot een afname van vrijheidsgraden (en daarmee een toename van de betrouwbaarheidsintervallen), waardoor effecten minder significant worden. In Figuur 5-7 wordt het energiegebruik (excl. teruglevering) getoond dat samenhangt met isolatiegraad waarbij wordt gecontroleerd voor de benoemde ‘verstorende’ kenmerken. In de figuur kan worden gezien dat de verschillen niet per se groter worden. Wat wel verandert ten opzichte van Figuur 5-6 is dat het verschil tussen de weinig en deels geïsoleerde woningen goeddeels is verdwenen. En waar er een verschil is, neigt dat vooral naar meer energiegebruik in de weinig geïsoleerde woningen.

In Figuur 5-8 worden dezelfde controles uitgevoerd, maar dan toegepast op het netto energiegebruik, dus inclusief teruglevering. Het levert een iets groter verschil op in energiegebruik tussen de isolatiegraden, maar het beeld verandert verder niet wezenlijk. Dat geeft aan dat het verschil in energiegebruik tussen de weinig en deels geïsoleerde woningen zoals dat aanvankelijk werd geconstateerd moet worden toegeschreven aan andere kenmerken dan de isolatiegraad. De aanwezigheid van pv-panelen – die wat meer voorkomen in de deels geïsoleerde dan in de weinig geïsoleerde woningen maken niet veel verschil. Het meenemen van de teruglevering leidt voor alle isolatiegraden tot een lager energiegebruik overdag, maar de verschillen worden er niet (veel) groter van.

**Figuur 5-7** Energiegebruik (excl. teruglevering) in het stookseizoen naar isolatiegraad, gecontroleerd voor woninggrootte, aantal gevels, type huishouden, apparatenbezit en leeftijd oudste bewoner (> 30 jaar)



**Figuur 5-8** Netto energiegebruik in het stookseizoen naar isolatiegraad, gecontroleerd voor woninggrootte, aantal gevels, type huishouden, apparatenbezit en leeftijd oudste bewoner (> 30 jaar)



De gemiddelde verschillen in energiegebruik tussen woningen die variëren in isolatiegraad zijn – na enige correctie voor versturende kenmerken die samenhangen met die

isolatiegraad – zoals zou mogen worden verwacht. Het gemiddelde etmaalniveau ligt, gecontroleerd voor de benoemde andere kenmerken, voor de geheel geïsoleerde woningen in het stookseizoen 0,4 kWh lager dan in de deels en weinig geïsoleerde woningen. Voor het gehele stookseizoen sommeert dat ( $0,4 * 24 \text{ uur} * 212 \text{ dagen}$ ) tot een verschil van ruim 2.000 kWh (ruim 200 m<sup>3</sup> aardgas). Daarin zit dan wel een effect van de pv-panelen (die meer zijn geïmplementeerd in de geheel geïsoleerde woningen in de steekproef) voor zover de opgewekte elektriciteit direct wordt gebruikt.

De substantiële betrouwbaarheidsintervallen in Figuur 5-7 geven aan dat de verschillen tussen woningen met een vergelijkbare isolatiegraad nog steeds groot zijn. Dat is ook niet vreemd omdat de controles betrekkelijk ‘provisorisch’ zijn doordat alleen informatie op hoofdlijnen beschikbaar is. Zo is de woninggrootte alleen bekend in klassen en niet in werkelijke grootte, net zoals de leeftijd van de oudste bewoner en ook is de feitelijke isolatiekwaliteit niet bekend, evenmin als het verliesoppervlak. Maar daarnaast zijn er ook tal van onbekende factoren die een verstrend effect kunnen hebben, waarvoor niet kan worden gecontroleerd. Een open vraag naar omstandigheden die van invloed zouden kunnen zijn geweest op het energiegebruik geeft een aardig inzicht in de variatie daarin. We noemen er enkele:

- Veranderingen in de samenstelling van een huishouden (scheiding, sterfte, kinderen het huis uit, samenwonen, langdurige logees);
- Veranderingen in aanwezigheid (ziekte, thuiswerken, pensioen, vakanties);
- ‘Bijzondere’ apparaten (jacuzzi’s, zwembaden, extra koelkasten, aquaria, zonnebanken, hobby-kas, elektrische fietsen, vijver met pomp, luchtzuivering, klimaatkasten);
- Andere, aanvullende, wijzen van verwarmen (pelletkachels, houtkachel/haard, biomassa stook, houtvergassingsinstallatie, brandstofcel);
- Overig (mede)gebruik van de woning: B&B, kantoor, mantelzorgwoning, melkveebedrijf op dezelfde meter, hondenkennel);
- Verbouwingen aan de woning (leiden gedurende de verbouwing tot meer energiegebruik).

Elk van deze omstandigheden kan veel invloed hebben op het energiegebruik. Denk bijvoorbeeld aan de andere, aanvullende manieren om te verwarmen. Zo blijft het energiegebruik van pelletkachels geheel buiten beeld in de analyses terwijl het ongetwijfeld een flink effect heeft op het gebruik van gas of elektriciteit voor verwarming. Omdat er niet systematisch naar is gevraagd, is het echter lastig voor de genoemde overige factoren te corrigeren. En waar die kenmerken onbekend zijn, maar wel systematisch samenhangen met de isolatiegraad van woningen maken die een goede vergelijking lastig.

Er is onderzocht of een exclusie van de woningen/huishoudens waarvoor is aangegeven dat er omstandigheden zijn geweest die van invloed waren op het energiegebruik de uitkomsten beïnvloedt. Dat bleek niet het geval. Omdat deze omstandigheden niet sys-

tematisch zijn geïnventariseerd en ook niet bekend is in welke periode de omstandigheden van invloed waren is dat ook begrijpelijk. Het laat echter onverlet dat dit soort omstandigheden in potentie wel een grote invloed kunnen hebben op de uitkomsten van vergelijkingen en dat ze zoveel mogelijk zouden moeten worden geïnventariseerd/gecontroleerd.

### 5.3 All electric woningen

In de vorige paragraaf is een poging gedaan om het energiegebruik te relateren aan vrij algemene kenmerken (de isolatiegraad) en de variatie die binnen de groepen bestaat te corrigeren door ook andere kenmerken in de analyse mee te nemen. Een andere weg is om op voorhand een meer homogene groep woningen te selecteren en die te vergelijken met het gemiddelde gebruiksprofiel. Zo'n meer homogene groep woningen betreft de zogenaamde 'all electric' woningen. Die definiëren we als volgt:

- Er wordt elektrisch verwarmd: dat wil zeggen met een warmtepomp (volledig) en niet met een ketel op gas of hybride warmtepomp of warmtelevering;
- Warm tapwater wordt verwarmd d.m.v. een zonneboiler of een elektrische geiser of een warmtepompboiler en niet met een gasgeiser of een combi-ketel;
- Er wordt elektrisch gekookt.

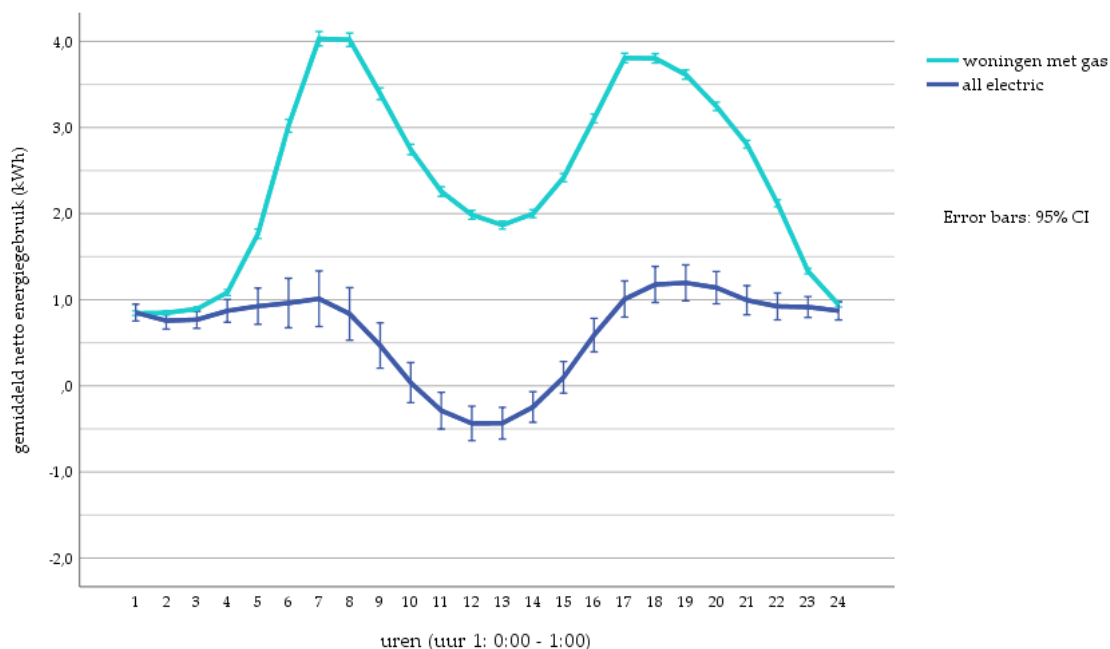
Deze woningen zijn op basis van wat de respondenten hebben geantwoord in merendeel (102 van de 118) geheel geïsoleerd. Ook heeft het merendeel – eveneens op basis van de opgave van de respondenten - zonnepanelen (104 van de 118). Ook gaat het vaker, maar niet uitsluitend om grotere woningen (74 van de 118 zijn groter dan 150 m<sup>2</sup> en om vrijstaande woningen (51%) en wonen er bewoners in de middenleeftijdsgroep (98 van de 118). Het betreft daarmee een subgroep van de geheel geïsoleerde woningen die in de vorige paragraaf zijn besproken.

In de all electric woningen is het netto energiegebruik zowel in het stookseizoen als daarbuiten substantieel lager dan in de woningen waarin ook gas wordt verbruikt. Dat geldt in het bijzonder het netto energiegebruik. Zowel in het stookseizoen (figuur 5-9) als daarbuiten (figuur 5-10) is het verschil in energiegebruik tussen all electric woningen en de andere woningen aanzienlijk.<sup>6</sup> Buiten het stookseizoen is het netto energiegebruik in de all electric woningen zelfs negatief. Maar ook zonder de teruglevering te verrekenen is het energiegebruik in de all electric woningen beduidend lager. Dat verschil komt dan wel vooral op rekening van het stookseizoen (figuur 5-11). Daarbuiten is het verschil vrij klein (figuur 5-12).

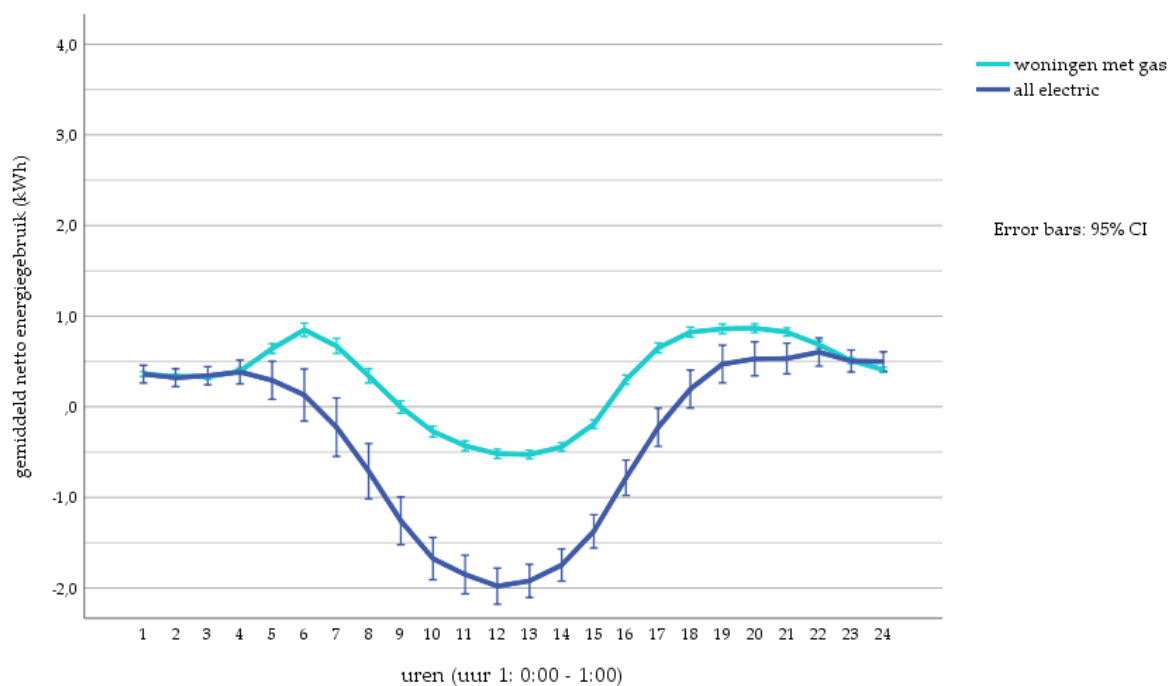
---

<sup>6</sup> Dit verschil zou wat kleiner zijn geweest als van een lagere energetische waarde van gas zou worden uitgegaan. De groep met gasverbruik komt dan namelijk op minder kWh energiegebruik uit. De verschillen zijn dan nog steeds significant, maar komen gedurende de nacht lager uit voor de woningen met gas dan voor de all electric woningen..

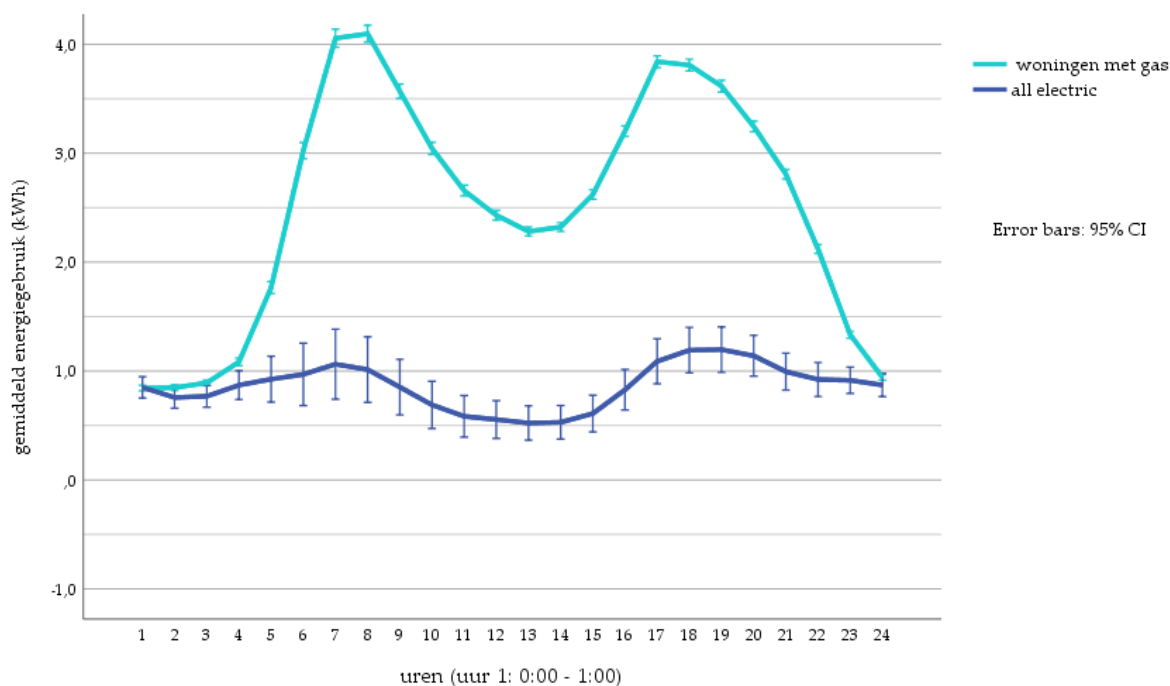
figuur 5-9 Netto energiegebruik in het stookseizoen voor all electric woningen vergeleken met woningen waarin deels ook gas wordt verbruikt



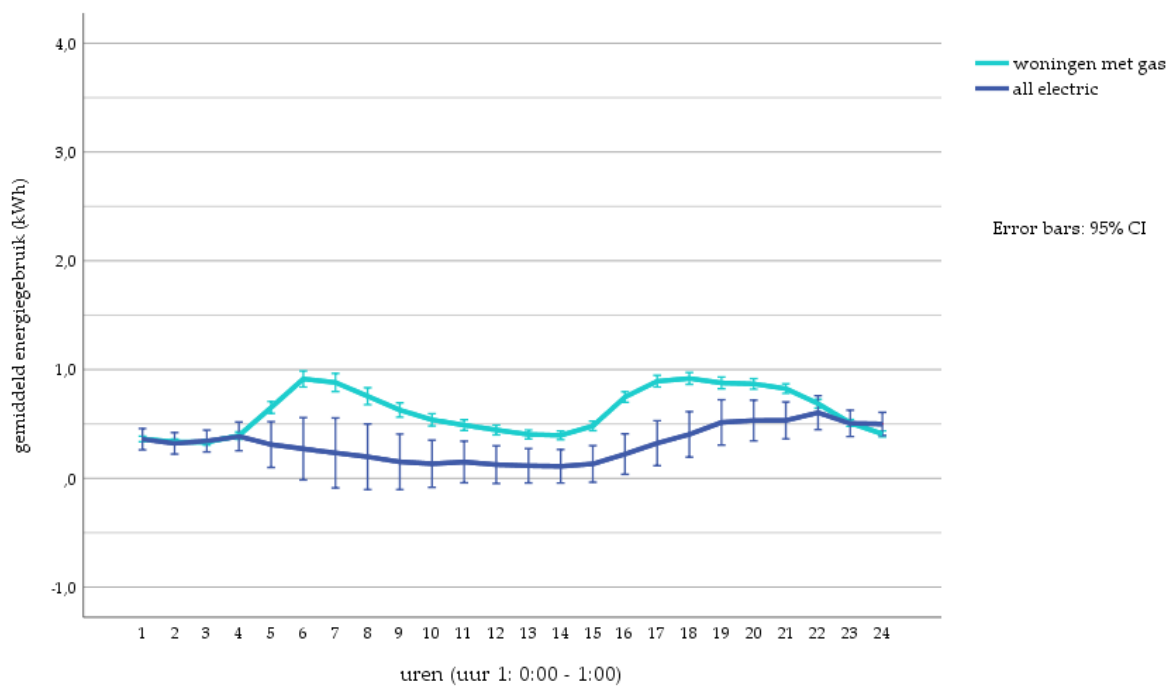
figuur 5-10 Netto energiegebruik buiten het stookseizoen voor all electric woningen vergeleken met woningen waarin deels ook gas wordt verbruikt



figuur 5-11 Energiegebruik (zonder teruglevering) in het stookseizoen voor all electric woningen vergeleken met woningen waarin deels ook gas wordt verbruikt



figuur 5-12 Energiegebruik (zonder teruglevering) buiten het stookseizoen voor all electric woningen vergeleken met woningen waarin deels ook gas wordt verbruikt





Gemiddeld genomen wordt in de all electric woningen ongeveer twee keer zoveel elektriciteit verbruikt als in overige woningen. Daar staat echter tegenover dat er geen gasverbruik is (dat gemiddeld bij de overige woningen in de steekproef uitkomt op 1.200 m<sup>3</sup> of 15.000 kWh). Op jaarbasis resulteert dit in een verschil van 9.000 kWh tussen de all electric woningen en de overige woningen in de steekproef.<sup>7</sup> Inclusief teruglevering komt het verschil in energiegebruik tussen de all electric en de overige woningen uit op ruim 11.500 kWh op jaarbasis. De set all electric woningen (geheel geïsoleerd, warmtepomp voor verwarming, zonneboiler/warmtepompboiler voor warm tapwater, veel zonnepanelen) levert daarmee een profiel op dat er in energetische zin bijzonder gunstig uitspringt, ondanks dat het gemiddeld om wat grotere, vrijstaande woningen gaat, waarin ook het apparatenbezit wat groter is.

## 5.4 Hybride systemen

Een derde manier om vergelijkingen te maken is door een specifieke groep woningen te selecteren waarbinnen de woningen slechts op één (gemeten) kenmerk van elkaar verschillen. Die optie illustreren we in deze paragraaf, waarin woningen met een hybride warmtepomp worden vergeleken met overig sterk vergelijkbare woningen met een gasketel.

Er zijn veel verschillende combinaties mogelijk van installaties waarmee de ruimte en warm tapwater worden verwarmd. De groep woningen waar we in deze paragraaf op ingaan zijn woningen met:

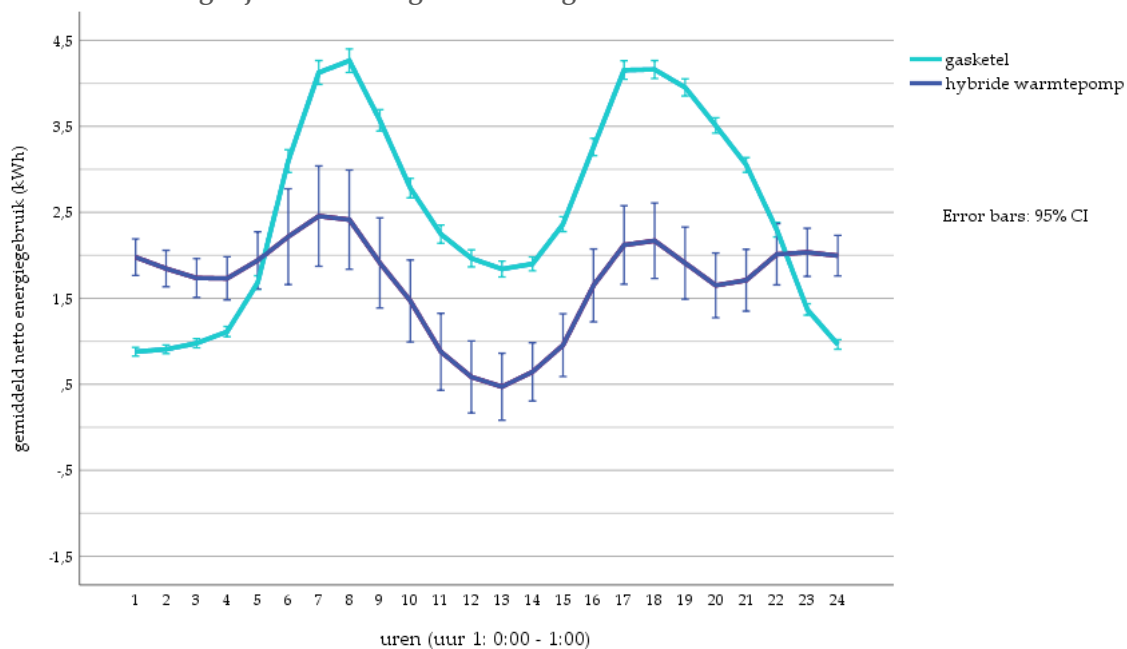
- Een hybride warmtepomp (combinatie van gasketel en warmtepomp) die zowel voor ruimteverwarming als voor warm tapwater wordt gebruikt. We selecteren hierbinnen de woningen die geheel zijn geïsoleerd (N=57). Dit betreft in meerderheid grotere woningen (meer dan 100m<sup>2</sup>). Ook zijn het relatief vaak vrijstaande woningen, hoekwoningen of twee-onder-een-kapwoningen.
- Vergelijkbare woningen met een gasketel. De groep woningen met een gasketel is een grote groep waardoor het relatief eenvoudig is om hierbinnen selecties te maken die de woningen redelijk vergelijkbaar maken met woningen met een hybride warmtepomp: dus geheel geïsoleerd, verwarming tapwater met de gasketel, minimaal 100 m<sup>2</sup> en geen tussenwoningen of appartementen.

Beide groepen woningen laten duidelijk verschillende patronen van energiegebruik zien, waarbij het energiegebruik gemiddeld genomen lager is in de woningen met een hybride warmtepomp. Bij het netto gebruik geldt dat zowel het stookseizoen (figuur 5-13) als daarbuiten (figuur 5-14).

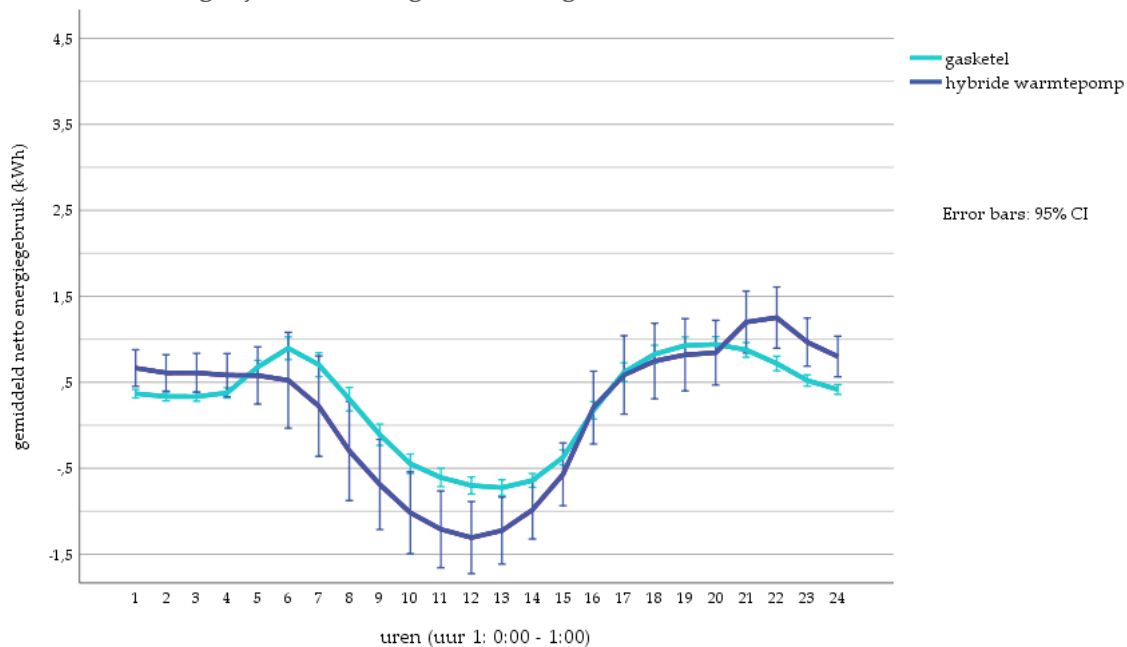
---

<sup>7</sup> Op basis van de gemeten jaarverbruiken van woningen met een volledig profiel voor de slimme meterdata.

figuur 5-13 Netto energiegebruik in het stookseizoen in hybride woningen en in vergelijkbare woningen met een gasketel

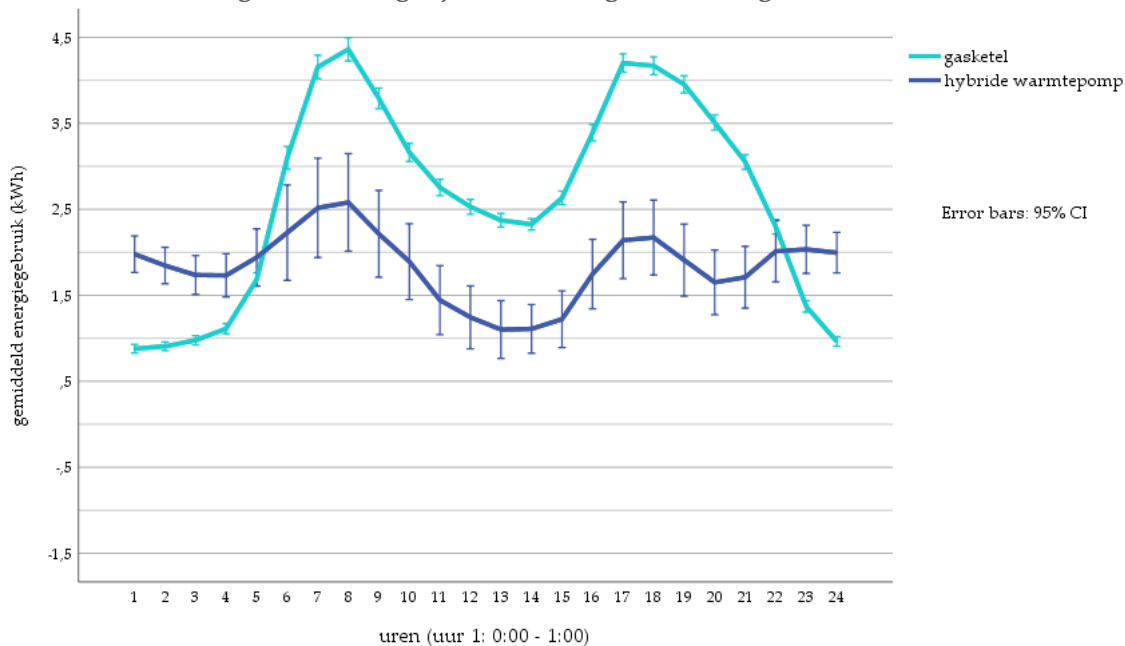


figuur 5-14 Netto energiegebruik buiten het stookseizoen in hybride woningen en in vergelijkbare woningen met een gasketel

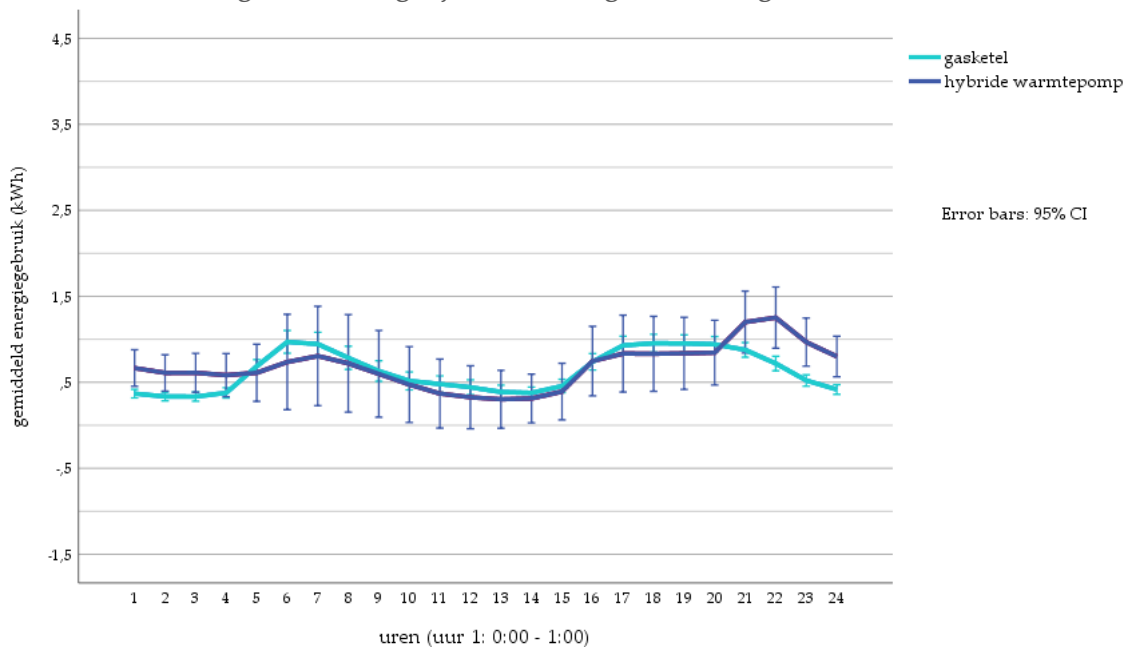


Zonder teruglevering is het energiegebruik in de woningen met een hybride warmtepomp ook lager in het stookseizoen dan in de woningen met een gasketel (figuur 5-15). Daarbuiten is dat niet het geval (figuur 5-16).

figuur 5-15 Energiegebruik (zonder teruglevering) in het stookseizoen in hybride woningen en in vergelijkbare woningen met een gasketel



figuur 5-16 Energiegebruik (zonder teruglevering) buiten het stookseizoen in hybride woningen en in vergelijkbare woningen met een gasketel



De afwezigheid van een verschil buiten het stookseizoen als teruglevering niet wordt meegenomen, geeft aan dat de woningen met een hybride warmtepomp relatief vaak profiteren van de aanwezigheid van zonnepanelen. Op dat aspect verschillen beide groepen dus nog steeds. Een vergelijking van het energiegebruik zonder teruglevering

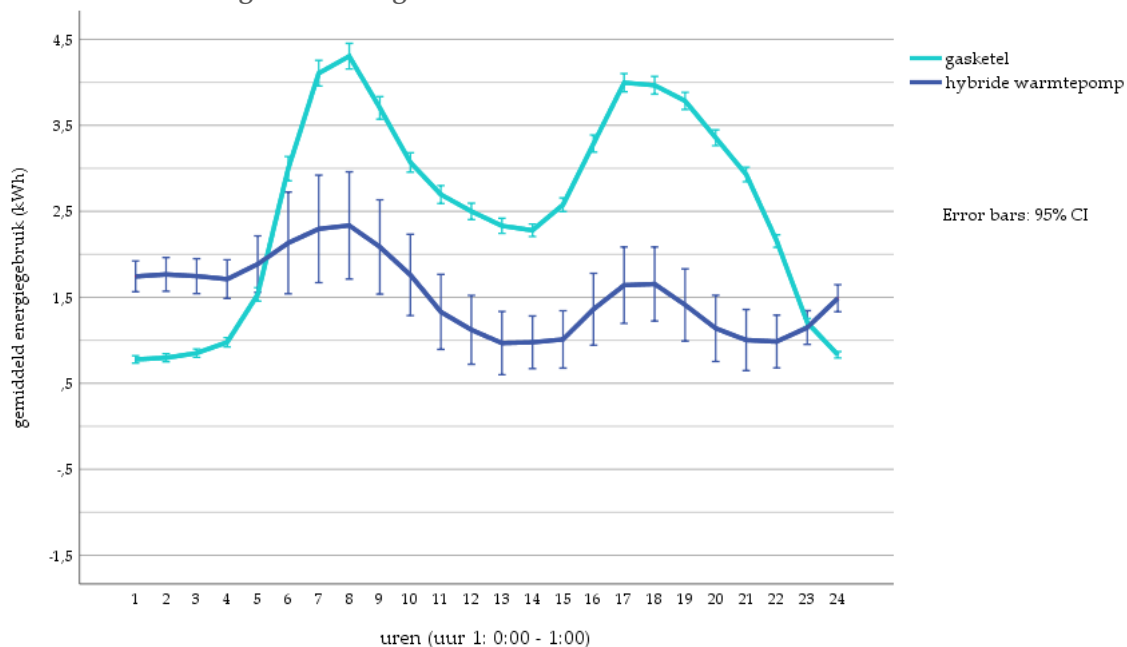
tussen beide groepen geeft daarmee vermoedelijk een beter inzicht in de werkelijke verschillen. Het dal in energiegebruik overdag wordt daarbij nog wel steeds beïnvloed door het verschil in zonnepanelen. Dat geldt echter niet voor de ochtend- en avondpieken, die ook substantieel lager zijn in de woningen met een hybride gasketel dan in de woningen met een reguliere gasketel (figuur 5-15).

Wat in die figuur ook opvalt is dat het energiegebruik in de woningen met een hybride gasketel relatief hoog is tussen 23:00 en 5:00 uur. Dat geldt het stookseizoen, maar ook daarbuiten (figuur 5-16), waar de verschillen nog net significant zijn. Het hoge energiegebruik gedurende de nacht in de woningen met een hybride warmtepomp kan het resultaat zijn van ander verwarmingsgedrag, maar ook van een ander gebruikspatroon van apparaten zoals een elektrische auto die thuis wordt opgeladen. Het is belangrijk om die tweede optie te neutraliseren omdat die in beginsel onafhankelijk is van de wijze van verwarmen. De eerste optie is dat niet.

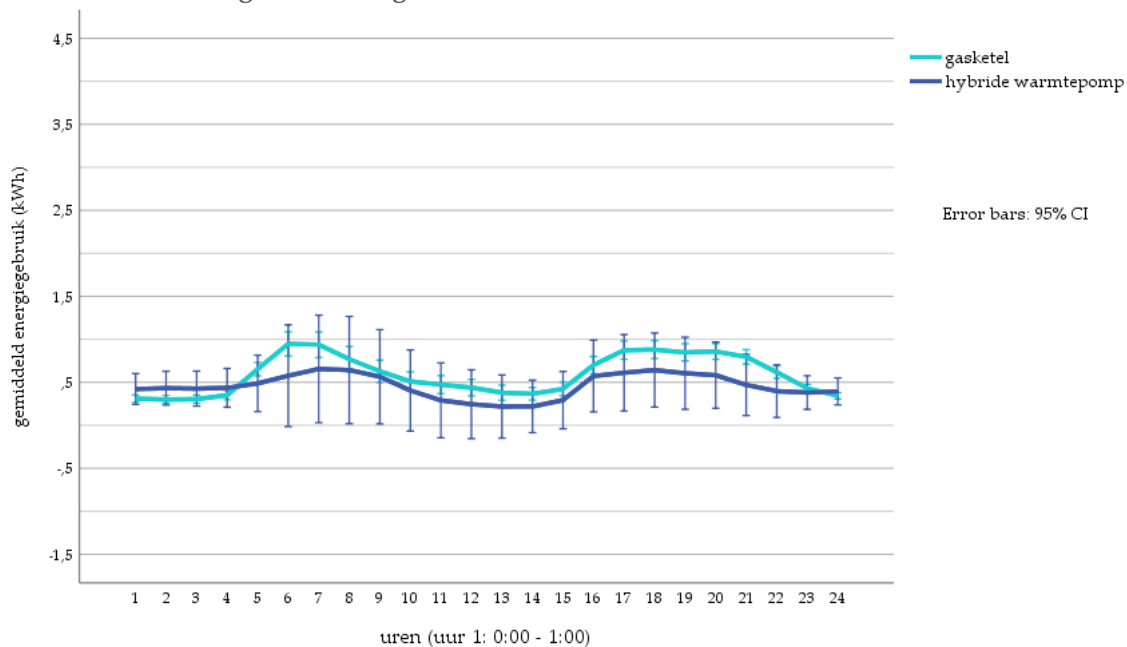
Nadere inspectie geeft aan dat het aandeel huishoudens met een elektrische auto die thuis wordt opgeladen wat hoger is in de groep met een hybride warmtepomp dan in de groep met een gasketel. Dit kan een verklaring zijn voor het hogere energiegebruik gedurende de nacht in de woningen met een hybride warmtepomp. Als voor beide groepen alleen de huishoudens worden geselecteerd die geen elektrische auto thuis opladen, wordt duidelijk dat het verschil in het stookseizoen iets kleiner wordt, maar in essentie hetzelfde patroon laat zien in de woningen met een hybride warmtepomp (figuur 5-17). Dus meer energiegebruik gedurende de nacht. Buiten het stookseizoen resteert er geen significant meergebruik van energie gedurende de nacht in de woningen met een hybride warmtepomp als alleen naar de huishoudens zonder elektrische auto wordt gekeken (figuur 5-18).

De invloed van de selectie op de uitkomsten geeft aan dat het verschil in aandeel elektrische auto's tussen beide groepen een effect heeft gehad op de gemeten verschillen zoals die in figuur 5-15 en figuur 5-16 werden weergegeven. Tegelijkertijd blijkt ook dat er wel degelijk sprake is van ander verwarmingsgedrag in de woningen met een hybride warmtepomp vergeleken met de woningen met een gasketel. Waar in de woningen met een gasketel 's nachts nog maar weinig energie wordt gebruikt, ligt dat in de woningen met een hybride warmtepomp structureel wat hoger in de nacht. Dat wordt overigens wel gecompenseerd door een lager energiegebruik gedurende de dag en een in algemene zin geringere amplitude in energiegebruik in deze woningen dan in de woningen met een klassieke gasketel. Dit resulteert in een substantieel lager niveau van energiegebruik gedurende het stookseizoen. Buiten het stookseizoen zijn, zoals hiervoor ook aangegeven, de verschillen tussen beide groepen niet meer significant (figuur 5-18). Dat ondersteunt de verwachting dat beide groepen woningen/huishoudens goed vergelijkbaar zijn en alleen structureel van elkaar verschillen in de wijze waarop wordt verwarmd.

figuur 5-17 Energiegebruik in het stookseizoen in hybride woningen waar geen elektrische auto wordt gebruikt en thuis opgeladen en in vergelijkbare woningen met een gasketel



figuur 5-18 Energiegebruik buiten het stookseizoen in hybride woningen waar geen elektrische auto wordt gebruikt en thuis opgeladen en in vergelijkbare woningen met een gasketel

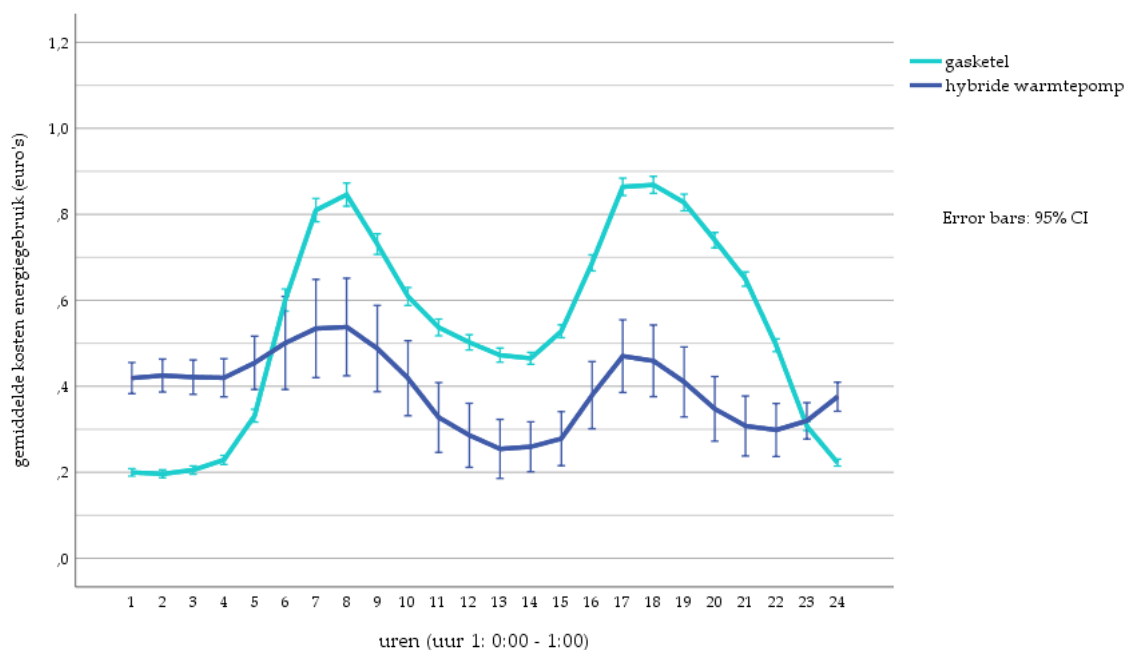


### 5.4.1 Kosten

Voor de vergelijking gasketel en hybride warmtepomp zijn ook de kosten onderzocht (prijspeil Q1 2022). We hanteren hiervoor dezelfde selectie als in de laatste analyse in de voorgaande paragraaf: geheel geïsoleerd, minimaal 100 m<sup>2</sup>, geen tussenwoningen of appartementen en geen elektrische auto's.

De bruto kosten (exclusief teruglevering) in het stookseizoen<sup>8</sup> kunnen worden vergeleken met het energiegebruik zoals weergegeven in figuur 5-17. In figuur 5-19 wordt het energiegebruik, omgerekend naar energiekosten, in het stookseizoen weergegeven. Vergelijking met figuur 5-17 laat zien dat het verschil tussen beide typen warmteopwekking over het etmaal gezien in kosten wat minder groot is dan het verschil in energiegebruik.

figuur 5-19 **Energiekosten (zonder teruglevering) in het stookseizoen in hybride woningen waar geen elektrische auto wordt gebruikt en thuis opgeladen en in vergelijkbare woningen met een gasketel**

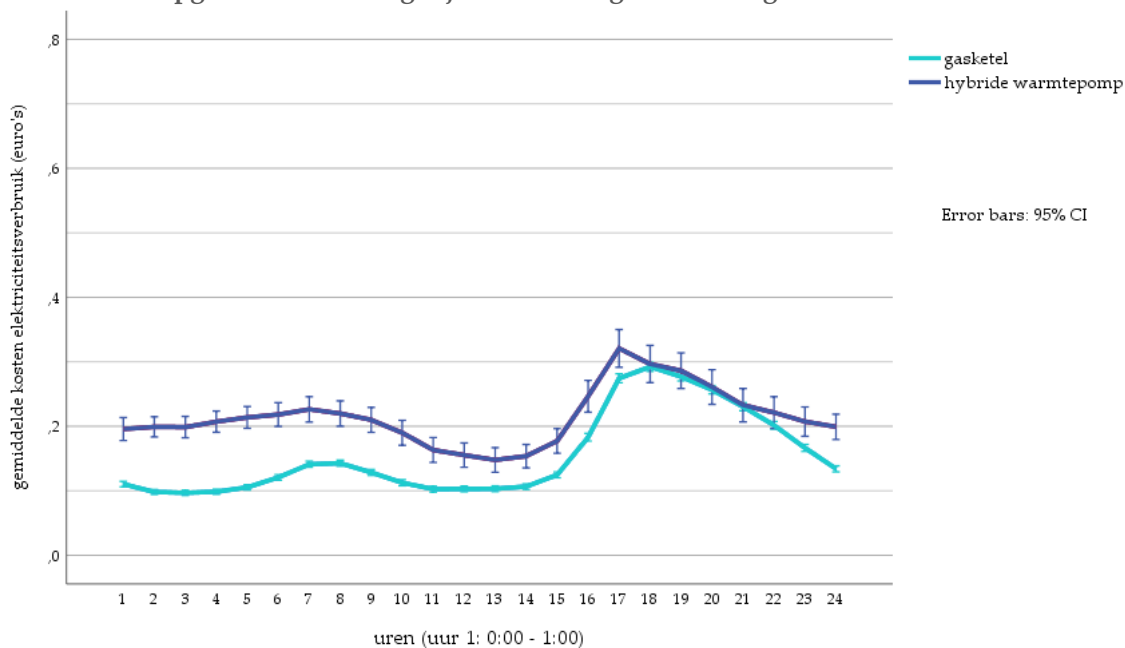


Doordat een kWh elektriciteit duurder is dan een kWh gas, komen de lijnen dichterbij elkaar in de piekuren. Gedurende de nacht is het verschil juist groter omdat in woningen met een hybride warmtepomp het elektriciteitsverbruik in het stookseizoen hoger is gedurende de nacht (figuur 5-20). De kostenpatronen worden in de vergelijking tussen

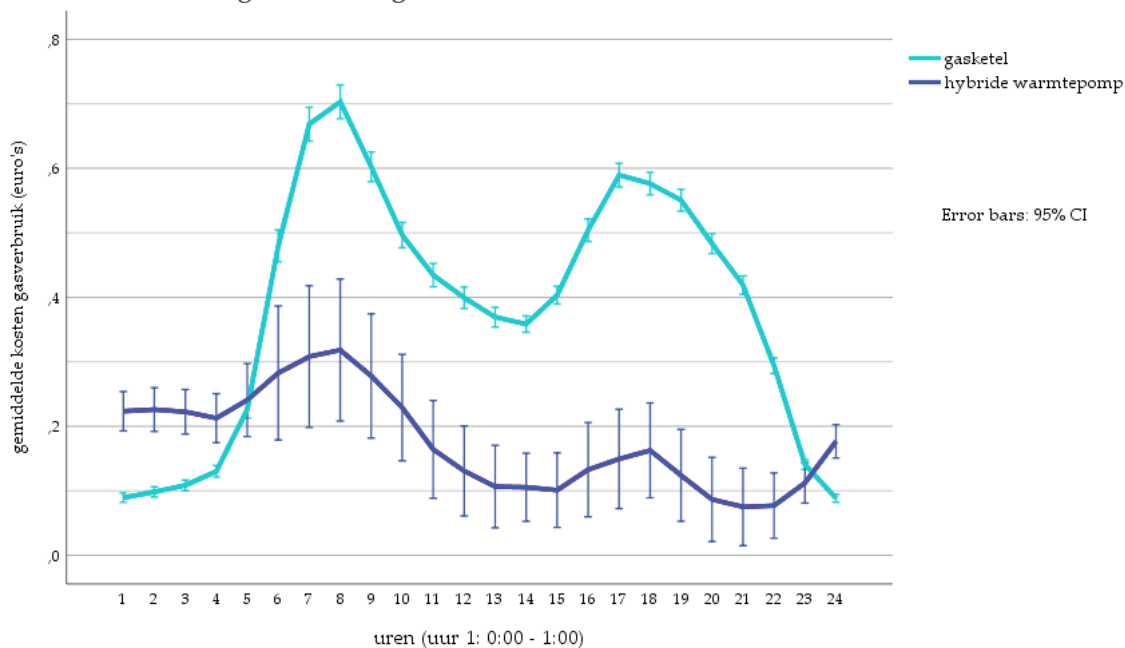
<sup>8</sup> Buiten het stookseizoen zijn de verschillen in kosten tussen de woningen met een en de woningen met een hybride warmtepomp niet significant. Er is alleen een beperkt verschil in kosten voor gasverbruik gedurende de avonduren. Dat ligt wat hoger in de woningen met een gasketel.

woningen met gasketels en met hybride warmtepompen evenwel gedomineerd door de kosten voor het gasverbruik (figuur 5-21).

figuur 5-20 Energiekosten elektriciteit (zonder teruglevering) in het stookseizoen in hybride woningen waar geen elektrische auto wordt gebruikt en thuis opgeladen en in vergelijkbare woningen met een gasketel



figuur 5-21 Energiekosten gas in het stookseizoen in hybride woningen waar geen elektrische auto wordt gebruikt en thuis opgeladen en in vergelijkbare woningen met een gasketel



Dat er in de woningen met een hybride warmtepomp gedurende de nacht een hoger gasverbruik is dan in de woningen met een gasketel suggereert dat de warmtepompen 's nachts – naast elektriciteit - ook gas verbruiken. Vooral in de namiddag en vroege avond zijn de kosten voor gasverbruik een stuk lager in de woningen met een hybride warmtepomp terwijl de elektriciteitskosten weinig verschillen met die in de woningen met een gasketel. Dat suggereert dat er naast een verschil in verwarmingssysteem toch ook nog andere verschillen bestaan tussen beide groepen woningen. Dat kunnen verschillen in isolatiekwaliteit zijn waardoor er in de avond betrekkelijk weinig hoeft te worden verwarmd in de woningen met een hybride warmtepomp. Maar er kunnen bijvoorbeeld ook gedragsverschillen tussen huishoudens zijn. Immers, als al het andere vergelijkbaar is, zouden bij een vergelijkbaar gedrag de elektriciteitskosten gedurende de avond hoger moeten zijn in de groep met een warmtepomp, te meer daar het gasverbruik in diezelfde periode ook laag ligt. De woningen worden dan dus gemiddeld weinig met gas verwarmd.

Bij een grotere steekproef en meer mogelijkheden voor selecties danwel bij longitudinale metingen kunnen dit type vragen beter worden gecontroleerd dan bij de cross-sectionele vergelijkingen zoals in dit hoofdstuk gepresenteerd. Overigens moet in meer algemene zin worden opgemerkt dat de steekproef onvoldoende representatief is om aan de bevindingen in deze paragraaf (net als aan de andere bevindingen in dit hoofdstuk) inhoudelijke conclusies voor de Nederlandse woningvoorraad te verbinden.

## 5.5 Evaluatie van de methode

Er zijn drie verschillende manieren gepresenteerd waarmee effecten van maatregelen op patronen van energiegebruik kunnen worden onderzocht door middel van variantieanalyse. Hierbij gaat het steeds om een vergelijking tussen groepen woningen/huishoudens. Een voordeel van deze methode boven het 'fixeren' van patronen en vervolgens nagaan of verschillende maatregelen samenhangen met het voorkomen van specifieke patronen is dat deze methode meer flexibiliteit geeft. Per maatregel (binnen een groep van woningen/huishoudens) kan worden vastgesteld welk verbruikspatroon dit gemiddeld oplevert en dat patroon kan weer worden vergeleken met de gemiddelde patronen in andere woningen. Door het vergelijken van etmaalpatronen kunnen zeer specifieke variaties zichtbaar worden (momenten van de dag waarop de verschillen groot of juist klein zijn) die meer inzicht geven in de achterliggende mechanismen die tot de verschillen leiden. Als er veel variatie binnen een groep woningen (met eenzelfde maatregel) is, leidt dat tot grote betrouwbaarheidsmarges en tot niet-significante verschillen met andere (groepen van) woningen.

Een probleem dat zich bij dat type vergelijkingen voordoet is dat de woningen op meer punten van elkaar verschillen dan alleen de punten die men wil vergelijken. Voor zover die punten bekend zijn, kan daarvoor worden gecontroleerd, ofwel statistisch (methode 1) ofwel door selectie en vergelijking met een algemeen gemiddelde (methode 2) of met een alleen op het aspect waarin we geïnteresseerd zijn verschillende groep woningen



(methode 3). De selectie van zoveel mogelijk vergelijkbare groepen woningen die vervolgens worden vergeleken op één afwijkend aspect (methode 3) leidt tot de meest inzichtelijke resultaten. De inzetbaarheid ervan is echter beperkt omdat het vereist dat de groepen vergelijkbare woningen kunnen worden gevonden van een voldoende omvang. Hoe meer selectiecriteria er zijn en hoe minder een maatregel gebonden is aan zo'n criterium, hoe kleiner de selectie wordt en hoe lastiger het wordt om statistisch betrouwbare verschillen te kunnen meten. Dus, voor betrekkelijk weinig voorkomende maatregelen zoals een zonneboiler die bovendien niet in een specifiek segment voorkomen, maar bijvoorbeeld verdeeld over allerlei verschillende woninggroottes en isolatiegraden van die woningen, is deze methode niet goed toepasbaar. Het is dan niet goed mogelijk om een voldoende homogene groep woningen te selecteren die kan worden vergeleken met een eveneens homogene groep woningen die vergelijkbaar is, maar alleen op dit aspect verschilt.

Met een statistische controle (methode 1) lijkt dit probleem in eerste instantie niet zo groot omdat er dan immers niet op voorhand naar een homogene groep woningen hoeft te worden gezocht. Er kan dan uit worden gegaan van de gehele groep en die kan – met controle voor de relevante andere kenmerken – worden vergeleken met de gehele overige groep. Dit veronderstelt wel dat alle relevante andere kenmerken bekend zijn en dat die op een goed onderscheidende manier zijn gemeten. Dat vraagt dus veel aandacht voor het meten van mogelijk versturende omstandigheden. Daarbij geldt dat die omstandigheden zo uitputtend mogelijk in beeld moeten zijn, maar ook dat ze zo precies mogelijk moeten worden gemeten. Een continue verdeling (bijvoorbeeld oppervlak in vierkante meters) is daarbij te prefereren boven een indeling in klassen. Allereerst omdat een continue verdeling nauwkeuriger is, maar ook omdat het voordelen heeft om een kenmerk als covariaat op te nemen in de variantieanalyse, in plaats van als factor. Hoe minder van de verklarende omstandigheden bekend is en hoe minder nauwkeurig ze zijn gemeten, hoe kleiner het deel van de verschillen binnen een groep dat kan worden gecorrigeerd door die omstandigheden. Dan resteert alsnog een grote 'errorvariancie' die ervoor kan zorgen dat de verschillen binnen een groep groter zijn dan die tussen de vergelijkingsgroepen. Het gevolg is dat er dan 'geen verschil' wordt gemeten.

Nog een aandachtspunt bij het controleren voor veel verschillende omstandigheden is dat dit gevolgen heeft voor de vrijheidsgraden in de analyse. Vermindering van vrijheidsgraden leidt tot grotere onbetrouwbaarheidsmarges en daarmee tot minder eenduidige uitkomsten. Dus, alleen als de omstandigheden waarvoor wordt gecontroleerd ook op een relevante manier samenhangen met de uitkomstmaat en de verschillen tussen de groepen, heeft deze werkwijze een meerwaarde.

Alle beperkingen daargelaten leidt de in dit hoofdstuk getoonde werkwijze wel tot inzichtelijke uitkomsten. Door alle omstandigheden waarop woningen/huishoudens van elkaar verschillen, maar die we niet weten, blijft het wel altijd zo dat het beeld niet volledig scherp is. Maar met het gebruik van de patronen van energiegebruik op basis van slimme-meterdata wordt het al wel een stuk duidelijker. Door de aandacht vervolgens te gaan richten op situaties waarin in een woning maatregelen worden genomen, waarbij voor- en na die verandering wordt gemeten en vergeleken (waarbij de maatregel dus

ook een 'within-subjects' factor wordt) kunnen veel van de problemen rond de niet-gespecificeerde kenmerken worden beperkt. Veel van die niet-gespecificeerde kenmerken of omstandigheden blijven dan namelijk constant (omdat het gaat om dezelfde woning/huishouden) en alleen de maatregel het verschil maakt.

## 6 Conclusies

In deze verkennende analyse hebben we van tevoren een aantal vragen gesteld waarop een antwoord werd gezocht:

- Kunnen de slimme-meterdata worden verwerkt tot analyseerbare gegevens?
- Zijn er betekenisvolle patronen uit af te leiden?
- Zijn die patronen gerelateerd aan:
  - Energiegebruik;
  - Kenmerken van de bewoners;
  - Kenmerken van woningen (en de uitrusting van die woningen).

De vragen kunnen alle met ‘ja’ worden beantwoord, maar enige toelichting is op z’n plaats.

### 6.1 Verwerking

De slimme-meterdata kunnen worden bewerkt tot analyseerbare gegevens. Er moet bij worden opgemerkt dat er zich hierbij niet direct voorziene zaken voordoen. Zo is het opvallend dat:

- In de meetgegevens soms flinke intervallen missen waarin blijkbaar geen waarden zijn geregistreerd.
- Er zowel negatieve als extreem hoge waarden worden geregistreerd die fysisch niet mogelijk zijn.
- De database niet consistent lijkt te zijn in die zin dat er bij een woning dubbele, maar niet altijd identieke metingen kunnen bestaan bij dezelfde en bij verschillende meters en dat eenzelfde meter wordt aangemerkt als enkeltarief maar ook als dubbeltarief (en daarmee twee keer voorkomt in het bestand).

Voor deze zaken is te corrigeren of ze kunnen door selectie worden uitgesloten. Daarna ontstaat een dataset die consistent en analyseerbaar is. Dat een deel van de data moet worden uitgesloten en dus niet kan worden gebruikt voor analyse, is wel iets dat aandacht vraagt. Het is van belang nader te onderzoeken wat de achtergrond van de problemen is en dat al aan de bron te corrigeren, zodat de gebruikswaarde van de data kan worden vergroot.

Of de uitkomsten ook echt valide zijn, kan niet worden vastgesteld omdat daarvoor geen extern criterium beschikbaar is. De data lijkt na correctie en selectie van valide cases wel intern consistent te zijn en te leiden tot betekenisvolle uitkomsten, wat de validiteit ervan aannemelijk maakt.

In deze verkenning hebben we gebruik gemaakt van intervallen van een uur. Hoe een en ander uitpakt bij de originele kwartier-intervallen is daarmee niet vastgesteld. Het is echter niet aannemelijk dat dit tot wezenlijk andere uitkomsten zal leiden.

## 6.2 Betekenisvolle patronen

### Gefixeerde patronen

Uit de leveringsgegevens van aardgas en elektriciteit zijn betekenisvolle patronen af te leiden. Door gebruik van clusteranalyse kunnen in de veelheid aan 24-uurs of etmaalpatronen zwaartepunten worden afgeleid die model staan voor manieren hoe het energiegebruik gedurende een etmaal verloopt. Deze patronen verschillen in het niveau van energiegebruik, spreiding van energiegebruik over het etmaal en de mate waarin ze voorkomen. Ze zijn sterk bepalend voor de totale jaarverbruiken.

De patronen zijn in deze verkenning geanalyseerd als etmaalpatronen die zijn bepaald als gemiddelden per dag en in/buiten het stookseizoen. Dat houdt in dat per woning steeds van 14 etmaalpatronen is nagegaan hoe die kunnen worden geclusterd. Er zijn vanzelfsprekend ook andere manieren waarop de aggregatie kan plaatsvinden. Zo is het ook mogelijk om een onderscheid te maken naar maanden in plaats van naar wel/geen stookseizoen. Ook kan worden uitgegaan van alle afzonderlijke dagen. Het is denkbaar dat dit tot (nog) meer nuance en verschillen in de patronen leidt omdat er minder aggregatie plaatsvindt.

De set van patronen die in deze verkenning is afgeleid, kan niet als algemeen geldend worden beschouwd. De steekproef is namelijk niet representatief. Koopwoningen zijn oververtegenwoordigd en daarmee vermoedelijk ook de huishoudens met hogere inkomens. Er zitten betrekkelijk weinig appartementen in de steekproef en er zijn relatief veel qua energiemaatregelen 'vooruitstrevende' huishoudens en woningen met een A-label. Het aandeel huishoudens met (hybride) warmtepompen ligt hoog, evenals bijvoorbeeld het aandeel dat een elektrische auto bezit en thuis oplaadt. Om inzicht te krijgen in welke patronen in de gehele Nederlandse populatie te zien zijn, zullen ook gegevens uit de gehele populatie moeten worden geanalyseerd.

### Resulterende patronen

Een tweede benadering die is toegepast, is om de patronen als resultante van een vergelijking van groepen te laten ontstaan. Dan kan bijvoorbeeld het patroon van woningen met een hybride warmtepomp worden vergeleken met woningen met een HR-ketel. Het patroon is dan de uitkomst van de vergelijking. Een voordeel van deze methode boven het 'fixeren' van patronen en vervolgens nagaan of verschillende maatregelen samenhangen met het voorkomen van specifieke patronen is dat deze methode meer flexibiliteit geeft. Per maatregel (binnen een groep van woningen/huishoudens) kan worden vastgesteld welk verbruikspatroon dit gemiddeld oplevert en dat patroon kan weer worden vergeleken met de gemiddelde patronen in andere woningen. Door het vergelijken van etmaalpatronen kunnen zeer specifieke variaties zichtbaar worden (momenten

van de dag waarop de verschillen groot of juist klein zijn) die meer inzicht geven in de achterliggende mechanismen die tot de verschillen leiden. Als er veel variatie binnen een groep woningen (met eenzelfde maatregel) is, leidt dat tot grote betrouwbaarheidsmarges en tot niet-significante verschillen met andere (groepen van) woningen.

### 6.3 Samenhang met kenmerken woningen en huishoudens

Beide 'wegen' (die van de gefixeerde patronen via clusteranalyse en van de resulterende patronen via variantieanalyse) leveren inzichtelijke relaties op met kenmerken van woningen en huishoudens. De weg van de resulterende patronen lijkt daarbij het meest veelbelovend. Toch zijn ook hier de nodige valkuilen. Om daar meer zicht op te krijgen, zijn drie verschillende manieren gepresenteerd waarmee effecten van maatregelen op patronen van energiegebruik kunnen worden onderzocht. Hierbij gaat het steeds om een vergelijking tussen groepen woningen/huishoudens.

Het basale probleem dat zich bij dit type vergelijkingen voordoet, is dat de woningen op meer punten van elkaar verschillen dan alleen de punten die men wil vergelijken. Waar die samenhang systematisch is, kan dat tot verkeerde interpretaties leiden. Waar de samenhang niet systematisch is, leidt het tot grote foutmarges. Als de (andere) punten bekend zijn waarop woningen of huishoudens van elkaar verschillen, kan daarvoor worden gecontroleerd, ofwel statistisch (methode 1) ofwel door selectie en vergelijking met een algemeen gemiddelde (methode 2) of met een alleen op het aspect waarin we geïnteresseerd zijn verschillende groep woningen (methode 3).

De selectie van zoveel mogelijk vergelijkbare groepen woningen die vervolgens worden vergeleken op één afwijkend aspect (methode 3) leidt tot de meest inzichtelijke resultaten. De inzetbaarheid ervan is echter beperkt omdat het vereist dat de groepen vergelijkbare woningen kunnen worden gevonden van een voldoende omvang. Hoe meer selectiecriteria er zijn en hoe minder een maatregel gebonden is aan zo'n criterium, hoe kleiner de selectie wordt en hoe lastiger het wordt om statistisch betrouwbare verschillen te kunnen meten. Dus, voor betrekkelijk weinig voorkomende maatregelen zoals een zonneboiler die bovendien niet in een specifiek segment voorkomen, maar bijvoorbeeld verdeeld over allerlei verschillende woninggroottes en isolatiegraden van die woningen, is deze methode niet goed toepasbaar. Het is dan niet goed mogelijk om een voldoende homogene groep woningen te selecteren die kan worden vergeleken met een eveneens homogene groep woningen die vergelijkbaar is, maar alleen op dit aspect verschilt.

Met een statistische controle (methode 1) lijkt dit probleem in eerste instantie niet zo groot omdat er dan geen homogene groep woningen nodig is. Er kan dan uit worden gegaan van de gehele groep en die kan – met controle voor de relevante andere kenmerken – worden vergeleken met de gehele overige groep. Dit veronderstelt wel dat alle relevante andere kenmerken bekend zijn en dat die op een goed onderscheidende manier zijn gemeten. Dat vraagt dus veel aandacht voor het meten van mogelijk verstorende omstandigheden. Daarbij geldt dat die omstandigheden zo uitputtend mogelijk in beeld moeten zijn én zo precies mogelijk moeten worden gemeten. Een continue verdeling

(bijvoorbeeld oppervlak in vierkante meters) is daarbij te prefereren boven een indeling in klassen. Allereerst omdat een continue verdeling nauwkeuriger is, maar ook omdat het voordelen heeft om een kenmerk als covariaat op te nemen in de variantieanalyse, in plaats van als een (fixed) factor. Hoe minder van de verklarende omstandigheden bekend is en hoe minder nauwkeurig ze zijn gemeten, hoe kleiner het deel van de verschillen binnen een groep dat kan worden gecorrigeerd door die omstandigheden. Dan resteert alsnog een grote 'errorvariantie' die ervoor kan zorgen dat de verschillen binnen een groep groter zijn dan die tussen de vergelijkingsgroepen. Het gevolg is dat er dan (mogelijk ten onrechte) 'geen verschil' wordt gemeten.

Nog een aandachtspunt bij het controleren voor veel verschillende omstandigheden is dat dit gevolgen heeft voor de vrijheidsgraden in de analyse. Vermindering van vrijheidsgraden leidt tot grotere onbetrouwbaarheidsmarges en daarmee tot minder eenduidige uitkomsten. Dus, alleen als de omstandigheden waarvoor wordt gecontroleerd ook op een relevante manier samenhangen met de uitkomstmaat en de verschillen tussen de groepen, heeft deze werkwijze een meerwaarde.

Alle beperkingen daargelaten leidt de in dit hoofdstuk getoonde werkwijze wel tot inzichtelijke uitkomsten. Door alle omstandigheden waarop woningen/huishoudens van elkaar verschillen, maar die we niet weten, blijft het wel altijd zo dat het beeld niet volledig scherp is. Maar met het gebruik van de patronen van energiegebruik op basis van slimme-meterdata wordt het al wel een stuk duidelijker.

## 6.4 Hoe verder?

De slimme-meterdata vormen een rijke gegevensbron met tal van analysemogelijkheden die het inzicht in het huishoudelijk energiegebruik aanzienlijk kunnen vergroten. Om daarmee echte stappen te kunnen zetten is opschaling nodig. Dat betekent: een breder en meer representatief bereik en longitudinale metingen. Om die opschaling tot een succes te maken, is standaardisatie van de dataverzameling en een verdere verbeteren van de robuustheid ervan (minder 'fouten') noodzakelijk.

Hoewel het uitvoeren van longitudinaal onderzoek geen sinecure is, biedt het wel belangrijke voordelen. De belangrijkste meerwaarde ligt daarbij in situaties waarin (potentieel) energiebesparende maatregelen worden genomen waarbij dan zowel voor als na de maatregel wordt gemeten.

- Veel van de problemen rond de niet-gespecificeerde kenmerken worden in dit type analyses beperkt. De meeste niet-gespecificeerde kenmerken of omstandigheden blijven dan namelijk constant (omdat het gaat om dezelfde woning/huishouden) en alleen de maatregel het verschil maakt.
- Er kan een scherper beeld ontstaan van het waarom achter met maatregelen samenhangende gedragsveranderingen, die onder meer tot uiting komen in pre- en reboundeffecten.

- Er kunnen concrete aangrijpingspunten worden gevonden om huishoudens te ondersteunen bij energiegedrag dat de duurzaamheidsmaatregelen versterkt in plaats van dat het deze deels neutraliseert. Met dergelijk onderzoek kan namelijk directer zichtbaar worden of huishoudens volharden in energiegedrag waar zij aan gewend zijn of dat zij bijvoorbeeld daadwerkelijk minder zuinig gedrag gaan vertonen. En omdat dan ook duidelijk kan worden hoe het verbruikspatroon eruit ziet (bijvoorbeeld 's nachts veel verbruik of juist weinig variatie in hoog/laag verbruik) kunnen ook directe manieren worden gevonden om daarop te sturen.

De manier waarop de verbruikspatronen in deze verkenning zijn geanalyseerd is niet de enig denkbare. Er zijn ook andere methoden waarmee patronen kunnen worden geïdentificeerd en er kan worden gewerkt met meerdere niveaus van patronen. Het kan nuttig zijn om nader te verkennen of die alternatieven tot meer inzicht leiden of dat ze een bevestiging vormen van wat al is gevonden.