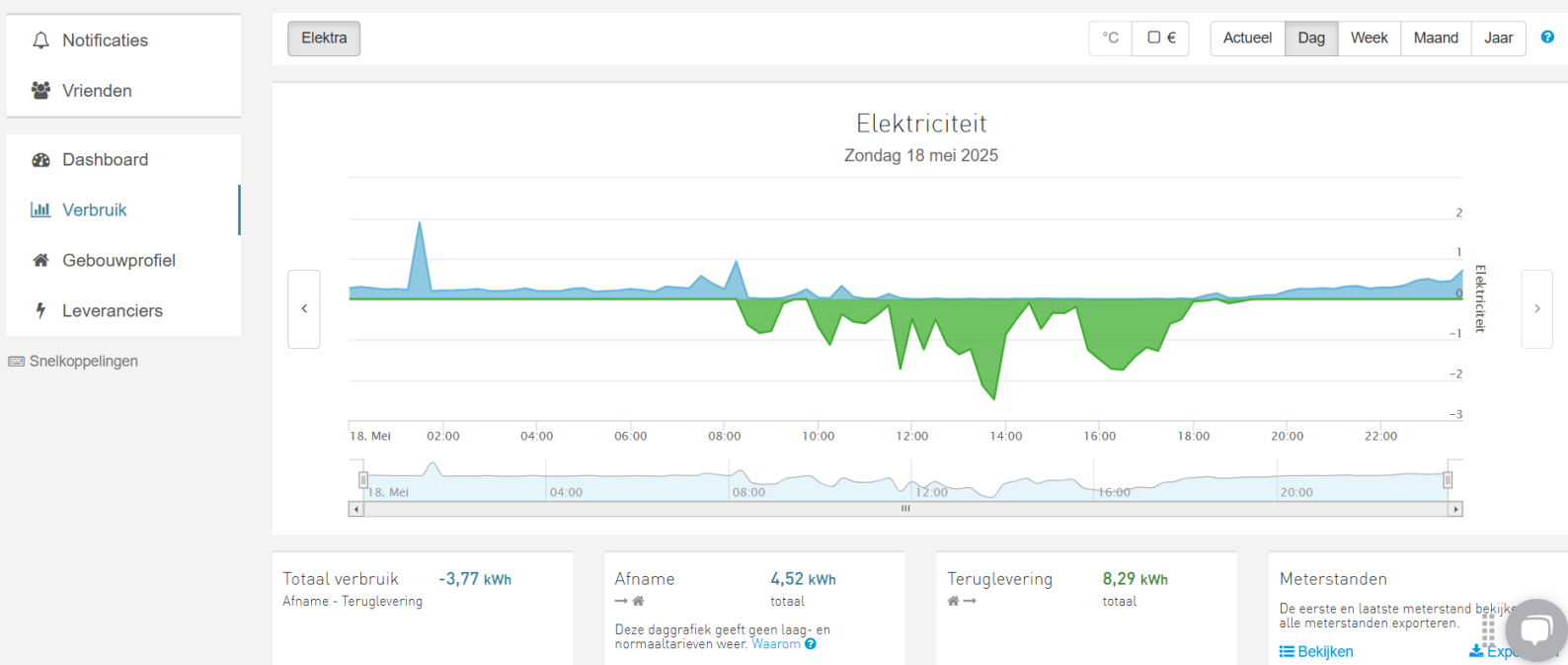


Analyse slimme-meterdata

RVO-panel

enellogic



 In.Fact.Research

Analyse slimme-meterdata

RVO-panel

8 september 2025

Opdrachtgever



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Contactpersonen:

Edwin Marquart, Léon Crommentuijn

Auteurs:

Kees Leidelmeijer; (kees.leidelmeijer@infact.eu)

IFR-rapportnummer: I 23915

Inhoud

Samenvatting.....	1
1 Inleiding.....	2
2 Dataverwerking.....	3
2.1 Datastromen.....	3
2.2 Verwerking slimme-meterdata.....	3
2.3 Nadere selecties.....	5
3 Aandeel energiegebruik voor ruimteverwarming.....	6
3.1 Inleiding.....	6
3.1.1 Achtergrond.....	6
3.1.2 Onderzoeksvraag.....	7
3.2 Methode.....	7
3.2.1 Stappenplan.....	7
3.2.2 Selecties.....	8
3.2.3 Representativiteit en beperkingen.....	10
3.3 Resultaten.....	12
3.3.1 Totaal gaswoningen.....	12
3.3.2 Typen huishoudens.....	13
3.3.3 Leeftijd.....	15
3.3.4 Woninggrootte.....	16
3.3.5 Woningtype.....	16
3.3.6 Bouwperiode.....	18
3.3.7 Isolatie.....	19
3.4 Conclusies.....	28
4 Patronen energiegebruik.....	30
4.1 Methode.....	30
4.1.1 Uitgangspunten en basisgegevens.....	31
4.1.2 Selectie periode.....	34
4.1.3 Selectie panelleden.....	34
4.2 Verkenning patronen (terug)levering elektriciteit.....	35
4.2.1 Eenpersoons 30-66 jaar.....	35
4.2.2 Eenpersoons 67-plus.....	38
4.2.3 Meerpersoons zonder kinderen 30-66 jaar.....	40
4.2.4 Meerpersoons zonder kinderen 67-plus.....	42
4.2.5 Meerpersoons met kinderen.....	45
4.3 Conclusies.....	47
5 Benutting opwek zonnepanelen.....	49
5.1 Gemeten opwek en eigen verbruik in de zomer.....	49
5.2 (Mis)match opwek en verbruik.....	52
5.3 Schatting opwek pv-installaties.....	58
5.3.1 Benadering van de opbrengst in een specifieke maand.....	59
5.3.2 Gebruik zoninstraling.....	60
5.3.3 Toetsing van het model.....	61
5.4 Conclusies.....	64

Samenvatting

Republiek heeft voor RVO een panel opgezet waarmee met behulp van slimme-meterdata het energiegebruik van huishoudens wordt gevolgd en gerelateerd aan verduurzamingsmaatregelen. In het voorliggende onderzoek zijn op dit panel enkele verkennende analyses uitgevoerd die laten zien dat de huidige set van slimme-meterdata veel inzichten biedt, maar ook beperkingen kent door ontbrekende of onvolledige gegevens.

Belangrijkste bevindingen:

- **Energieverdeling:** Het aandeel gasverbruik voor ruimteverwarming (79%), warm tapwater (18%) en koken (3%) in het panel komt goed overeen met de gebruikelijke landelijke gemiddelden. Omdat het panel niet representatief is, kan niet worden geconcludeerd dat deze verdeling gemiddeld voor geheel Nederland geldt. Er zijn flinke verschillen gevonden in deze verdeling tussen huishoudens naar leeftijd, huishoudgrootte, woninggrootte en -isolatie.
- **Patroonherkenning:** Het gebruik van apparaten, vooral de vaatwasser, is deels te detecteren uit energiepatronen op uurniveau. Voor betere en bredere automatische herkenning zijn aanvullende data nodig.
- **Zonnepanelen:** Voor een beperkte selectie van 15 huishoudens in het panel is nagegaan hoeveel van de pv-opwek direct wordt benut. Dit komt voor deze selectie uit op circa 20% van de eigen opgewekte stroom. Dit ligt lager dan de vaak genoemde 30%, waarschijnlijk vooral door hoge installatievermogens in het panel en omdat alleen gegevens over de zomermaanden beschikbaar waren.

Aanbevelingen:

- Verbreden van het panel waarbinnen slimme-meterdata wordt verzameld zodat representatieve inzichten kunnen worden gegenereerd. In het bijzonder ontbreken gegevens over energiegebruik van lagere inkomens en in recente woningen, appartementen en huurwoningen.
- Uitbreiden van slimme-meterdata met gegevens over de pv-opwek. Gegevens over de pv-opwek zijn belangrijk omdat de directe benutting ontbreekt in de slimme-meterdata waarin alleen levering en teruglevering worden geregistreerd. Daardoor wordt het zicht op het feitelijke energiegebruik sterk beperkt. De gegevens over pv-opwek kunnen:
 - idealiter worden ontleend aan meetgegevens;
 - eventueel modelmatig worden geschat door combinatie van installatiegegevens en gegevens over zoninstraling. Dit vraagt verdere modelontwikkeling.
- Verkennen van de mogelijkheid om algoritmes te ontwikkelen waarmee apparaat- en installatiegebruik kan worden gedetecteerd uit patronen van slimme-meterdata. Daarmee kan het inzicht in de achtergronden van het elektriciteitsverbruik van huishoudens worden versterkt. Hiervoor zijn als input nodig:
 - hoogfrequente slimme-meterdata;
 - gegevens over feitelijk gebruik van apparaten/installaties en kenmerken daarvan;
 - gegevens over pv-opwek.

1 Inleiding

Republiq doet in opdracht van een RVO een meerjarig onderzoek naar de werkelijke effecten van verduurzaming op het energiegebruik van huishoudens. Daarvoor is een panel opgezet waarbinnen continu het energiegebruik wordt gemeten met behulp van slimme-meterdata.¹ Het gaat om maanddata (beschikbaar tot maximaal anderhalf jaar vóór toestemmingverlening als de bewoner niet is gewijzigd), maar ook om uurdata (vanaf het moment van toestemmingverlening) en – nog niet voor de analyses in deze rapportage beschikbaar, maar wel voorzien - kwartierdata. Deze slimme-meterdata betreffen de gas- en/of elektriciteitslevering en – indien van toepassing - teruglevering van elektriciteit van een huishouden in de betreffende maanden/uren/kwartieren.

Per eind december 2024 zijn er van 1.274 huishoudens slimme-meterdata beschikbaar. De periodes waarover de gegevens beschikbaar zijn, verschillen. Er zitten recente deelnemers tussen die slechts voor een of enkele maanden data leveren en een kleine 400 deelnemers waarvoor op dit moment al ruim twee jaar aan uurdata beschikbaar zijn (vanaf augustus 2022). Andere deelnemers zijn uit het panel verdwenen (bijvoorbeeld door verhuizing). Van die groep zijn er dus geen gegevens tot eind beschikbaar, maar wel gedurende een afgebakende periode. Van de deelnemers met slimme-meterdata zijn ook vragenlijstgegevens beschikbaar. Hieruit kan informatie over (veranderingen in) de woning en installaties, het huishouden en energiegedrag worden gehaald.

De combinatie van slimme-meterdata en gegevens uit vragenlijsten biedt unieke mogelijkheden voor analyse. In het longitudinale onderzoek zelf staat de vraag naar het effect van verduurzamingsmaatregelen centraal: hoeveel energie gaan huishoudens meer/minder verbruiken nadat ze bijvoorbeeld hebben geïsoleerd of een warmtepomp hebben laten installeren (of beide). De data bieden echter ook allerlei andere mogelijkheden voor analyse. Het gaat immers om registraties van werkelijke gas- en elektriciteitsverbruiken met een hoge frequentie. Daardoor kan uit de data niet alleen worden afgeleid of verduurzaming van invloed is op de verbruiken, maar ook wanneer (op welke momenten van de dag en in het jaar) huishoudens energie gebruiken en – deels samenhangend met het inzicht in de kenmerken van woningen en huishoudens uit de vragenlijsten – waarvoor ze die energie gebruiken.

Om het panel breder te benutten dan alleen voor de hoofdvraag van het longitudinale onderzoek heeft RVO een aantal andere onderzoeksvragen geformuleerd. In deze rapportage wordt ingegaan op deze vragen. Achtereenvolgens komen aan de orde:

1. Hoofdstuk 3: het aandeel energiegebruik voor verwarming, koken en tapwater naar kenmerken van woningen en huishoudens;
2. Hoofdstuk 4: een verkenning van de mogelijkheden om met verbruikspatronen indicaties te krijgen voor het gebruik van elektrische apparaten;
3. Hoofdstuk 5: een verkenning van de verhouding tussen teruglevering en eigen opwek van pv-panelen en een methode om de opwek van pv-panelen te schatten als die informatie niet beschikbaar is.

In hoofdstuk 3 en 4 wordt nadrukkelijk ook gezocht naar de verschillen tussen typen huishoudens en woningen die zinvol kunnen worden gemaakt.

¹ De correcte schrijfwijze is slimmemeterdata. Omwille van de leesbaarheid is gekozen voor 'slimme-meterdata'.

2 Dataverwerking

In dit hoofdstuk wordt een kort overzicht gegeven van de dataverwerking, toegespitst op de slimme-meterdata. Een ander wordt uitgebreider beschreven in de (achtergrond)rapportage 'Monitoring energiegebruik en verduurzaming' en bijbehorende bijlagen die Republiq heeft opgesteld.

2.1 Datastromen

Het panel – waar ook dit onderzoek op is gebaseerd – kent verschillende datastromen:

- Vragenlijsten (intake en driemaandelijke voortgang);
- Slimme meterdata: levering gas, levering elektriciteit, teruglevering elektriciteit op niveau:
 - Maandtotalen vanaf februari 2021;
 - Uurtotalen vanaf oktober 2022;
 - Kwartiertotalen (nog niet verwerkt);
- Weerfactoren bij dichtstbijzijnde meetstation;
- Bij een selectie van het panel:
 - opwek van pv-panelen;
 - huisbezoeken.

Slimme meterdata worden voor alle deelnemers maandelijks aangevuld totdat een deelnemer zich uitschrijft. Tot dat moment ontvangt elke deelnemer ook driemaandelijks een (uitnodiging tot) deelname aan de voortgangsenquête waarin wijzigingen in zijn/haar situatie (getroffen verduurzamingsmaatregelen, overige wijzigingen in de woning, wijzigingen in huishouden en wijzigingen in gedrag) kunnen worden aangegeven en de datum waarop die wijziging(en) aan de orde waren.

Voor elke deelnemer wordt metadata opgesteld waarmee de verschillende stromen kunnen worden gekoppeld en waarin wordt bijgehouden welke data, voor welke momenten beschikbaar is. Alle gegevens worden geanonimiseerd verwerkt.

2.2 Verwerking slimme-meterdata

De verwerking van de slimme-meterdata bestaat uit:

- Omzetten van de aangeleverde bestanden (json-format) naar csv-format met velden;
 - Id's (deelnemer en gebouw)
 - Unit_type (gas of elektriciteit)
 - Date_time (UTC+0)
 - Quantity (meterstand per unit_type)
 - Rate (tarief: totaal, laag/normaal):
 - 180 – Afname totaal (geen onderscheid tussen laag/normaal)
 - 181 – Afname laag

- 182 – Afname normaal
 - 280 – Teruglevering totaal (geen onderscheid tussen laag/normaal).
 - 281 – Teruglevering laag
 - 282 – Teruglevering normaal
- Bewerking van de data:
 - Rijen met een onbekende meterstand worden verwijderd
 - `datetime_utc` wordt omgezet naar Nederlandse tijd (UTC+1 voor wintertijd en UTC+2 voor zomertijd).
 - `datetime_utc` wordt uiteengelegd in kolommen dag, uur en minuten.
 - Meterstanden worden omgerekend naar verbruiken
 - Bij dubbele waarnemingen (rijen waarbij alle datavelden dezelfde waarde hebben) wordt een rij verwijderd.
 - Per `account_id`, `building_id`, `rate`, `unit_type`, `datetime_utc` wordt het aantal regels gecheckt (`count_quantity`). Bij meerdere regels worden de meterstanden (`quantity`) vergeleken:
 - Het verschil tussen twee waarden van `quantity` is $< 1\%$. We gaan uit van een dubbele waarde en verwijderen één van de twee waarden.
 - Het verschil tussen twee waarden van `quantity` is $\geq 1\%$. We gaan uit van meerdere meters en behouden alle waarden.
 - Een rij wordt 'aangemerkt' wanneer het aantal meters op tijdstip t anders is dan op tijdstip $t-1$.
 - Elektraverbruik, gasverbruik en elektra teruglevering worden gesplitst op basis van `unit_type` en `rate`, waarbij geldt:
 - Als `rate_182` en `rate_181` beide beschikbaar, dan worden de waarden voor `quantity` bij elkaar opgeteld.
 - Als alleen `180` beschikbaar is, wordt die waarde gebruikt.
 - Verbruik wordt per `unit_type` berekend door: $\text{verbruik} = \text{quantity} - \text{quantity}(-1)$
 - Als verschil in tijd tussen opeenvolgende regels niet overeenkomt met de eenheid die wordt gebruikt (maand of uur), wordt verbruik op missing gezet.
 - Foutieve waarden worden uitgefilterd door grenswaardecontrole:
 - Maand: elektriciteit levering: $> 2.000 \text{ kWh}$ of $< 0 \text{ kWh}$;
 - Maand: elektriciteit teruglevering: $> 4.000 \text{ kWh}$ of $< 0 \text{ kWh}$;
 - Maand: gasverbruik levering: $> 1.000 \text{ m}^3$ of $< 0 \text{ m}^3$;
 - Uur: elektriciteit levering: $> 50 \text{ kWh}$ of $< 0 \text{ kWh}$;
 - Uur: elektriciteit teruglevering: $> 100 \text{ kWh}$ of $< 0 \text{ kWh}$;
 - Uur: gasverbruik levering: $> 20 \text{ m}^3$ of $< 0 \text{ m}^3$.

Er wordt geen generieke outlier-controle uitgevoerd. Deze controle wordt doorgeschoven naar de analysefase omdat daarin beter inhoudelijk kan worden beoordeeld wat in een bredere context moet worden gezien als een onwenselijke outlier en wat als een 'gewoon' hoge waarde.

2.3 Nadere selecties

De in deze rapportage gebruikte bestanden hebben de beschreven verwerking doorlopen. Bij elke deelvraag die in deze rapportage aan de orde komt, zijn tevens aanvullende selecties gemaakt om de voor de betreffende vraag relevante deelnemers en periodes waarin de meetdata kunnen worden gebruikt (onder meer op basis van de uitkomsten van de voortgangenquêtes) te selecteren. Deze selecties worden steeds in de methodesectie van de afzonderlijke hoofdstukken beschreven.

3 Aandeel energiegebruik voor ruimteverwarming

3.1 Inleiding

3.1.1 Achtergrond

In de literatuur² wordt de volgende gemiddelde verdeling (over een jaar) voor gasverbruik in Nederland gerapporteerd:

- Verwarming: 78%;
- Warm tapwater: 20%;
- Koken: 2%.

Deze gemiddelde verdeling is het resultaat van modelberekeningen waarbij het totale energiegebruik van huishoudens wordt verdeeld over gebouwgebonden (SAWEC³) en niet-gebouwgebonden (EVA⁴) gebruik en over afzonderlijke apparaten. In SAWEC worden aantallen van woningtypen (inclusief bouwperiode en eigendom) onderscheiden, evenals de penetratie van verschillende typen installaties voor warm tapwater, koken en elektrische ruimteverwarming en -koeling. Het gasverbruik voor ruimteverwarming wordt bepaald als het verschil tussen het totale aardgasverbruik minus dat wat wordt gebruikt voor koken en warmwater. EVA hanteert (per apparaat) de volgende rekenwijze:

Energiegebruik (in kWh) =

$$\begin{aligned} & \text{Woningen [aantal]} \times \\ & \text{Penetratiegraad [\% woningen met apparaat]} \times \\ & \text{Gebruiksduur [uren]} \times \\ & \text{Gebruiksintensiteit [factor]} \times \\ & \text{Verbruik [vermogen in Watt]}. \end{aligned}$$

De input van de modellen bestaat uit een combinatie van statistieken/registraties (aantal woningen, penetratiegraden van installaties/apparaten) en literatuur/aannames (hoeveelheid apparaten, gebruiksduur en gebruiksintensiteit).

² Compendium voor de Leefomgeving (2023). Energiegebruik van huishoudelijke apparatuur, 2000-2021 (indicator 0536, versie 07, 13 februari 2023), www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.

³ Simulatie en Analyse model voor verklaring en voorspelling van het Woninggebonden Energieverbruik en CO₂-emissie, zie ook [NEV Rekensysteem SAWEC](#) van het PBL.

⁴ Elektriciteitsverbruik van Apparaten rekenmodel, zie ook [NEV Rekensysteem – EVA](#) van het PBL.

3.1.2 Onderzoeksvraag

De primaire onderzoeksvraag die in dit hoofdstuk wordt behandeld is: wat is de verhouding tussen energiegebruik voor ruimteverwarming, verwarmen warm tapwater en koken als deze gebaseerd wordt op slimme-meterdata?

De vervolgvraag is: wat zijn de verschillen in deze verhouding tussen segmenten van huishoudens en woningen?

3.2 Methode

Er zijn verschillende manieren om met de slimme-meterdata een beeld te krijgen van de aandelen energiegebruik voor verwarmen van de woonruimte, verwarmen van tapwater en koken. Een inzichtelijke en relatief eenvoudige manier om de inschatting te maken is door van specifieke groepen huishoudens/woningen op verschillende momenten in het jaar hun energiegebruik te meten en dit te relateren aan gebruiksfuncties. Op die manier kan voor een relatief groot deel van het panel op geaggregeerd niveau een beeld worden verkregen van de aandelen energiegebruik voor verschillende gebruiksfuncties. Het stappenplan en de aanvullende selecties beschrijven we hierna.

3.2.1 Stappenplan

Er worden twee groepen huishoudens geselecteerd:

- 1) huishoudens die koken op gas en zowel de woning als tapwater verwarmen met gas;
- 2) huishoudens die elektrisch koken en de woning en tapwater verwarmen met gas.

Voor deze groepen wordt het gemiddelde maandverbruik in het stookseizoen en daarbuiten bepaald. Er wordt uitgegaan van het gemiddelde maandverbruik omdat de periode waarover data beschikbaar is niet voor elke respondent een geheel stookseizoen of een geheel niet-stookseizoen bestrijkt. Voor sommige zijn er meerdere gehele seizoenen beschikbaar en voor andere (nieuwe deelnemers, deelnemers die zijn verhuisd) soms slechts enkele maanden. De insteek is om een zo breed mogelijk deel van het panel mee te nemen over een zo lang mogelijke periode. Door gebruik te maken van maandgemiddelden in plaats van totalen in een stookseizoen of daarbuiten is dit mogelijk.

Het volgende stappenplan wordt doorlopen:

Stap 1: Voor beide groepen wordt het gemiddelde gasverbruik in een zomermaand (niet-stookseizoen) beschouwd als respectievelijk de baseline voor gasverbruik t.b.v. koken en tapwater (groep 1) en de baseline voor gebruik tapwater (groep 2).⁵

Het verschil tussen beide baselines levert het maandelijks gasverbruik voor koken (in groep 1). Het uitgangspunt hierbij is de aanname dat buiten het stookseizoen het gasverbruik voor verwarming te verwaarlozen is danwel vergelijkbaar voor beide groepen. Ook nemen we hier aan dat vakanties voor beide groepen gemiddeld genomen eenzelfde invloed hebben.

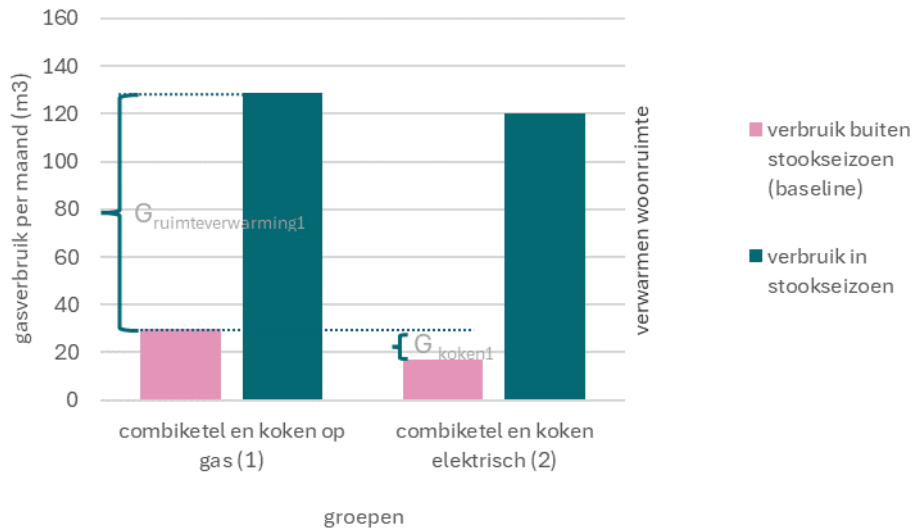
$$G_{koken_1} = G_{baseline_1} - G_{baseline_2}$$

⁵ In de vergelijkingen staat de index steeds voor de groep (1: gaswoningen; 2: gas, maar elektrisch koken)

Stap 2: Voor groep 1 wordt het gasverbruik voor ruimteverwarming bepaald als het verschil tussen het maandverbruik in het stookseizoen en het maandverbruik (de baseline) daarbuiten. De aanname hierbij is dat het gasverbruik voor het verwarmen van tapwater en koken in het stookseizoen niet significant afwijkt van dat in de zomermaanden;

$$G_{ruimteverwarming_1} = G_{stookseizoen_1} - G_{baseline_1}$$

figuur 3-1 Illustratie stappen 1 en 2



Stap 3: De gemiddelde maandverbruiken in het stookseizoen en niet-stookseizoen worden voor groep 1 omgerekend naar het jaarverbruik:

$$G_{jaar_1} = (G_{stookseizoen_1} * 7) + (G_{baseline_1} * 5)$$

Stap 4: Voor groep 1 wordt het aandeel ruimteverwarming in een jaar bepaald als het verschil tussen het maandverbruik in het stookseizoen en de baseline van dezelfde groep, vermenigvuldigd met het aantal maanden van het stookseizoen gedeeld door het jaarverbruik.

$$P_{verwarming_1} = (G_{ruimteverwarming_1} * 7) / G_{jaar_1}$$

Stap 4: Het aandeel gasverbruik voor koken wordt bepaald als:

$$P_{koken_1} = G_{koken_1} * 12 / G_{jaar_1}$$

Stap 5: Het aandeel gasverbruik voor warm tapwater wordt tenslotte bepaald als:

$$P_{tapwater_1} = 1 - P_{verwarming_1} - P_{koken_1}$$

3.2.2 Selecties

Om de analyses te kunnen doen, worden de volgende selecties gemaakt (met resulterende aantallen panelleden):

- 1) Deelnemer deelt energiedata: N = 1.321;

- 2) De energiedata kunnen eenduidig worden gekoppeld met de gegevens uit de vragenlijst (niet meer dan één gebouw-id): N = 1.269;
- 3) Deelnemer heeft (ook) na eerste verduurzaming⁶:
 - Cv-ketel: N = 780 (van N=152 is de wijze van verwarming onbekend⁷); deze groep kan worden onderverdeeld in:
 - a) combiketel⁸ & koken op gas: 291;
 - b) combiketel & koken elektrisch: 366;
 - c) cv-ketel en koken op gas, maar tapwater niet via hoofdverwarming⁹: N= 41.
 - d) cv-ketel, maar kookt en verwarmt tapwater elektrisch: N = 82.

Met de groepen 3a en 3b kunnen de vergelijkingen worden gemaakt die in paragraaf 3.2.1 zijn beschreven. Hiervoor wordt de slimme-meterdata gebruikt tot het moment dat men in een later stadium een van deze functies (verwarming, tapwater of koken) heeft aangepast. Aanvullend worden de deelnemers geselecteerd die in deze periode geen verandering in het huishouden hebben gehad. Voor de groepen 3a en 3b resulteert dit in een verdere inperking tot respectievelijk N=256 en N=303.

Voor alle deelnemers binnen de selecties worden alleen verbruiksdata tót de maand van verandering gebruikt. Verder worden in navolgende analyses alle maanden met nulverbruiken die als ‘missende data’ zijn gekwalificeerd¹⁰ buiten beschouwing gelaten. De resulterende meetgegevens die worden gebruikt voor de analyses hebben betrekking op de periode februari 2021 t/m december 2024 (figuur 3-2). In de figuur is zowel de aanwas van het panel zichtbaar (er komen mensen bij, maar een deel verlaat het panel ook door verhuizing) als de terugloop in de aantallen doordat er veranderingen plaatsvinden. Per saldo zijn er vanaf begin 2022 steeds behoorlijke aantallen panelleden met verbruiksdata beschikbaar. De uitkomsten in dit hoofdstuk kunnen dan ook worden geïnterpreteerd als gemiddelden voor de jaren 2022 t/m 2024.

In figuur 3-2 zijn in 2024 onverklaarbare pieken en dalen te zien. Deze kunnen grotendeels worden herleid tot omissies in de geleverde data. Naar aanleiding hiervan zijn procedures van levering en verwerking aangepast zodat ‘gaten’ in de toekomst eerder worden gedetecteerd en kunnen worden opgelost. Voor de analyses in deze rapportage is nog gebruik gemaakt van de gegevens zoals gepresenteerd in figuur 3-2.

⁶ Er wordt voor deze selectie gekozen omdat voor deze groep de gehele periode voor verduurzaming en erna (tot een van de gebruiksfuncties wordt aangepast) bruikbaar is voor analyse. Hiermee wordt de groep die bij de eerste verduurzaming bijvoorbeeld van een combiketel naar een warmtepomp is overgestapt buiten beschouwing gelaten.

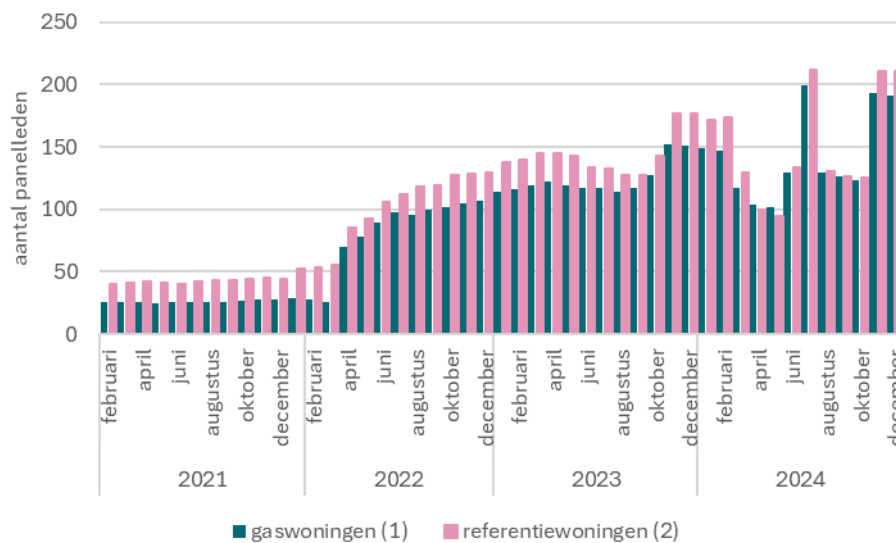
⁷ In beginsel zou uit de verbruikspatronen kunnen worden afgeleid of deze panelleden verwarmen op gas. Omdat deze personen vaak ook op andere datavelden in de vragenlijst ontbrekende waarden hebben en die velden wel van belang zijn om de uitkomsten te kunnen duiden, wordt deze groep met missings buiten beschouwing gelaten in de analyses in deze paragraaf.

⁸ De aanwezigheid/gebruik van een combiketel wordt afgeleid uit het bevestigende antwoord op de vraag of – bij gebruik van een cv-ketel – het hoofdverwarmingstoestel ook wordt gebruikt om tapwater te verwarmen.

⁹ Overwegend met boilers; N=4 heeft een gasboiler; die kunnen worden meegenomen in de analyse waarmee groep 3a (ruimteverwarming, warm tapwater en koken op gas) N=295 wordt.

¹⁰ De status van deze maanden waarin geen gasverbruiken zijn gemeten, zijn niet eenduidig te kwalificeren. Ze kunnen komen doordat mensen op vakantie zijn (dan is het wenselijk om ze niet mee te nemen bij de bepaling van de baselines voor koken en gas), maar het kunnen ook ‘gewone’ ontbrekende gegevens zijn (missings). In het panel is namelijk niet bekend wanneer mensen met vakantie zijn.

figuur 3-2 Periode van meetgegevens en aantallen panelleden in de selecties op verschillende momenten



Voor elke deelnemer worden gemiddelde maandelijkse verbruiken in het stookseizoen (oktober t/m april) en erbuiten (mei t/m september) berekend waarbij steeds de voor elke deelnemer langst mogelijke periode wordt genomen. Dat kan dus voor een deelnemer die al lang in het panel zit en alleen zonnepanelen heeft geplaatst betekenen dat de gemiddelden zijn gebaseerd op een periode van drie jaar terwijl voor een ander alleen een gemiddelde in het stookseizoen beschikbaar is dat is gebaseerd op een periode van bijvoorbeeld drie maanden.

3.2.3 Representativiteit en beperkingen

Verschillen tussen segmenten

Het is aannemelijk dat de verhoudingen tussen ruimteverwarming, koken en verwarmen van tapwater anders zijn bij verschillende typen huishoudens, woningen en installaties. Beter geïsoleerde woningen met betere verwarmingsinstallaties hebben gemiddeld genomen een kleiner aandeel energiegebruik voor verwarmen dan slechter geïsoleerde woningen met verouderde verwarmingsinstallaties. Ook in grotere woningen zal het aandeel voor verwarmen naar verwachting groter zijn dan in kleinere woningen. De reden daarvoor is dat koken en gebruik warm tapwater niet of minder (leidinglengte kan eventueel nog wel een rol spelen) samenhangen met woninggrootte, maar vooral met kenmerken van huishoudens. Om die reden presenteren we de uitkomsten zowel in aandelen als in absolute hoeveelheden energiegebruik (omgerekend naar jaarlijkse verbruiken).

Er worden op basis van de literatuur¹¹ ook tussen typen huishoudens verschillen verwacht. Zo is het gebruik van warm tapwater naar verwachting meer afhankelijk van het aantal leden in het huishouden dan ruimteverwarming. Bij beide gebruiksfuncties (verwarmen en gebruik warm tapwater) zijn er verschillen tussen leeftijdsgroepen. Die groepen verschillen namelijk (gemiddeld genomen) in *hoe* er

¹¹ Zie bijvoorbeeld [Milieu Centraal](#) of voor meer detail: Tigchelaar, C. en K. Leidelmeijer (2013), [Energiebesparing: een samenspel van woning en bewoner - analyse van de module energie van het WoON2012](#), ECN en RIGO i.o.v. BZK of Leidelmeijer, K. en E. Cozijnsen (2009), [Energiedrag in de woning: aanknopingspunten voor de vermindering van het energiegebruik in de woningvoorraad](#), RIGO i.o.v. VROM/WWI.

wordt verwarmd: temperatuurinstellingen, aantal kamers dat wordt verwarmd en hoe vaak en hoe lang wordt gedoucht. En dat heeft weer gevolgen voor hoeveel energie er wordt gebruikt. Verder hangt de leeftijdsverdeling in een huishouden ook samen met het aantal leden van een huishouden. In dit hoofdstuk onderzoeken we dan ook tot in redelijk detail, maar wel univariaat, in hoeverre kenmerken van de huishoudens en woningen samenhangen met de gevonden aandelen.

Generaliseerbaarheid

De analyses geven een indruk van de mate waarin de samenstelling van het panel van invloed is op de uitkomsten en dus op de generaliseerbaarheid ervan. Het panel is immers niet representatief (grotere woningen bijvoorbeeld). Verder beperkt in het bijzonder het goeddeels ontbreken van appartementen in het panel de potentiële generaliseerbaarheid van de uitkomsten naar de totale woningvoorraad. In appartementen ligt het namelijk in de rede dat het aandeel energiegebruik voor verwarmen kleiner is (door het gemiddeld geringere verliesoppervlak) dan in eengezinswoningen. Hier wordt in de conclusies (paragraaf 3.4) verder op ingegaan.

Beperking tot gaswoningen

De beschreven methode levert een verhouding op tussen de aandelen energiegebruik voor ruimteverwarming, koken en verwarmen tapwater voor ‘gaswoningen’: woningen waarin voor de drie benoemde functies gas wordt verbruikt. Door de selectie van gaswoningen kunnen de uitkomsten niet zonder meer naar alle woningen worden gegeneraliseerd. Dat geldt in het bijzonder omdat de verwachting is dat woningen waarin met een all-electric of hybride warmtepomp wordt verwarmd minder energie gebruiken voor ruimteverwarming dan woningen met een HR-ketel. Het aandeel energiegebruik voor ruimteverwarming zal in dat segment dan ook naar verwachting lager liggen, hoewel dat weer afhankelijk is van hoe in deze woningen warm tapwater wordt verwarmd. Het is aannemelijk dat dit in deze warmtepompwoningen gemiddeld ook energiezuiniger gebeurt dan in de gaswoningen. Voor het verwarmen van warm tapwater in warmtepompwoningen zijn veel verschillende opties beschikbaar: van het gasdeel van een hybride warmtepomp tot doorstroomkranen, een warmtepompboiler of een zonneboiler. In theorie kunnen deze opties ook in woningen worden toegepast waarin met gas wordt verwarmd, maar dat is – behoudens een traditionele boiler, geiser of ‘quooker’ – minder waarschijnlijk.¹²

Alternatief voor all-electric

Voor huishoudens die uitsluitend of deels gebruik maken van elektriciteit om de woning en/of warm tapwater te verwarmen, is de aanpak die hiervoor is beschreven lastiger te maken dan voor gaswoningen. Dat komt vooral omdat de baseline dan op het elektriciteitsverbruik moet worden gebaseerd. Die baseline is echter minder nauwkeurig omdat ook andere activiteiten dan koken en verwarmen tapwater gebruik maken van elektriciteit (verlichting, opladen van elektrische auto’s, wassen en koelen, enzovoort). Daarnaast wordt de baseline ‘verstoorde’ door het gebruik van de eigen opwek van elektriciteit (die onbekend is). Dat gebruik van de eigen opwek zorgt er namelijk voor dat het gemeten elektriciteitsverbruik (levering) veel lager is dan wat feitelijk wordt gebruikt. Voor deze huishoudens kan het een methode zijn om na te gaan welk deel van het elektriciteitsverbruik afhankelijk is van het weer (m.n. buitentemperatuur, wind, zoninstraling). De aanname is dan dat dit weerafhankelijke deel

¹² Het lijkt nuttig om op korte termijn in het panel op zoek te gaan naar ‘pakketten’: combinaties van kenmerken van installaties, isolatiegraad e.d. van woningen die meer/minder voorkomen. Dit kan worden verkend met clusteranalyse.

bestemd is voor verwarming. Op die manier kan het aandeel voor verwarmen binnen het totaal van energiegebruik worden vastgesteld.

Bij een dergelijke benadering moet echter ook weer de aanname worden gemaakt dat andere activiteiten waarvoor elektriciteit wordt gebruikt niet (direct of indirect) samenhangen met het weer. Het is aannemelijk dat dit niet geheel juist is. Zo is het bij koudere temperaturen ook vaker langer donker (meer verlichting), worden de accu's van elektrische auto's meer belast (voor verwarmen) waardoor die mogelijk vaker moeten worden opgeladen, wordt de was vaker gedroogd met een wasdroger in plaats van buiten te drogen gehangen, enzovoort. Dat maakt het waarschijnlijk dat een deel van het temperatuurafhankelijke deel van het energiegebruik in 'all-electric'-woningen niet uitsluitend aan het verwarmen van de woning kan worden toegeschreven. Het is dan de vraag of dit tot betrouwbare resultaten kan leiden. In die zin lijkt het vooralsnog acceptabel(er) om aan te nemen dat de verdeling in all-electricwoningen vergelijkbaar zal zijn met die in gaswoningen. Dat vraagt echter nog wel nadere analyse.

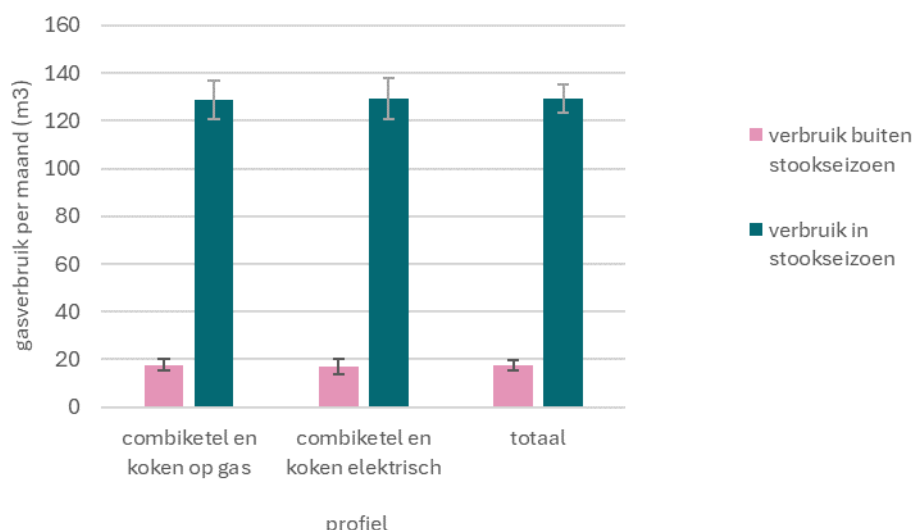
3.3 Resultaten

3.3.1 Totaal gaswoningen

Aandeel verwarming

Het gemiddelde maandelijkse gasverbruik voor woningen waar op gas wordt gestookt ligt in het panel in het stookseizoen op 129 m³ en buiten het stookseizoen op 17,4 m³ (figuur 3-3). Die 17,4 m³ kan worden beschouwd als baseline, waarmee er – als er wordt gestookt – maandelijks zo'n 112 m³ meer wordt verbruikt dan wanneer niet wordt gestookt.

figuur 3-3 Maandelijks gasverbruik in stookseizoen en erbuiten, incl. 95% betrouwbaarheidsinterval



Het aandeel dat jaarlijks wordt gebruikt voor verwarming komt daarmee voor de gasgestookte woningen in het panel uit op 79%. Dit is nagenoeg gelijk aan de 78% die in de literatuur wordt aangehouden. Die 78% valt bovendien binnen het betrouwbaarheidsinterval van de schatting. Hierbij moet

worden bedacht dat het panel – zoals hiervoor ook aangegeven - niet representatief is en dus op zichzelf mogelijk tot een over- of onderschatting leidt. Dat de orde van grootte van het aandeel verwarming sterk overeenkomt met wat in de literatuur wordt genoemd is niettemin opvallend. Daar komen we hierna op terug.

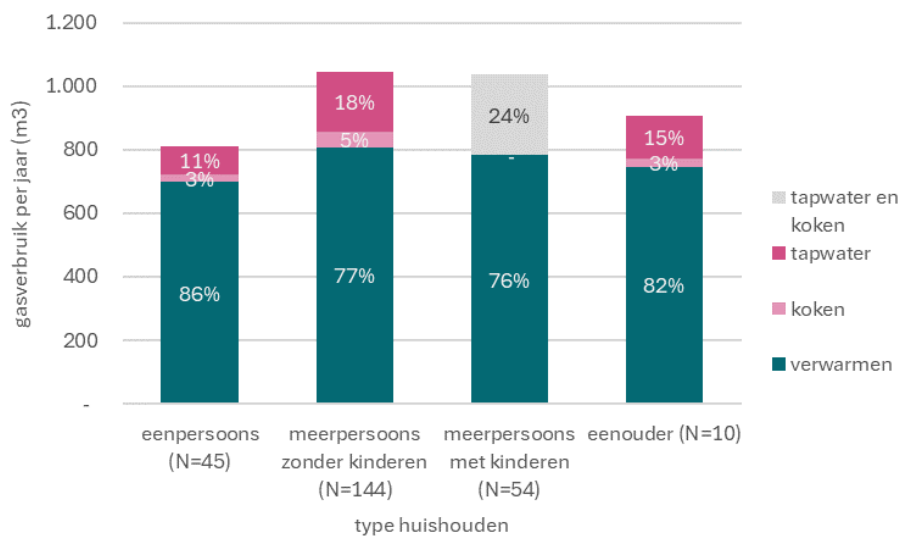
Aandeel koken

De baseline van het gasverbruik ligt iets lager ($0,6 \text{ m}^3$ per maand) in de groep die elektrisch kookt dan in de groep die op gas kookt. Als we het meerverbruik in de groep die ook op gas kookt beschouwen als het gasverbruik voor koken, dan zou het aandeel daarvoor op 0,7% uitkomen. Dat is lager dan de 2% die zou worden verwacht op basis van de literatuur. Omdat dit gasverbruik voor koken wordt afgeleid als het verschil tussen twee baselines (die niet significant van elkaar verschillen) en wordt uitgedrukt als aandeel van het totaalverbruik, kent het een relatief grote onbetrouwbaarheid. Er kan dan ook niet worden gesteld dat het aandeel van 0,7% significant van 2% afwijkt.

3.3.2 Typen huishoudens

Er zijn betekenisvolle verschillen in de verbruiken en de aandelen daarbinnen voor de verschillende functies tussen typen huishoudens.¹³ De totale jaarverbruiken zijn het hoogst voor de meerpersoons-huishoudens zonder kinderen en de meerpersoonshuishoudens met kinderen (figuur 3-4).

figuur 3-4 Jaarlijks gasverbruik en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, tapwater en koken, naar type huishouden



Voor de eenpersoonshuishoudens zijn de jaarverbruiken het laagst. Daarbinnen gebruiken zij relatief veel gas voor het verwarmen van de woning (en dus weinig voor het verwarmen van warm tapwater en koken). In deze analyses is niet gecontroleerd voor woninggrootte. Voor een deel – met name het

¹³ Hierbij wordt voor 'kinderen' de leeftijdsgrens van 18 jaar aangehouden. Een huishouden met twee ouders en een kind van 19 jaar wordt daardoor gerekend bij de groep 'meerpersoonshuishouden zonder kinderen'. Ook een alleenstaande ouder en een kind van 19 jaar wordt tot die groep gerekend en niet tot de eenoudergezinnen. Deze keuze is gemaakt omdat de onderlinge relaties tussen de leden van het huishouden niet is uitgevraagd.

deel gasverbruik voor verwarming - zal het verschil daarmee te maken kunnen hebben. De invloed van woninggrootte op (de verdeling van) gasverbruik wordt besproken in paragraaf 3.3.4.

Het onderscheid tussen gasverbruik voor warm tapwater en koken kon voor de groep meerpersoonshuishoudens met kinderen niet worden benaderd omdat de baseline van de groep die elektrisch kookt hoger was dan de baseline voor de groep die op gas kookt. Vermoedelijk verschillen beide groepen ook op andere aspecten sterk waardoor een dergelijke vergelijking niet mogelijk is zonder nadere uitsplitsingen.

Het aandeel dat wordt gebruikt voor koken ligt in de groepen waarvoor de uitsplitsing wel kon worden gemaakt gemiddeld wat hoger dan de 2% uit de literatuur. Dat dit aandeel in de totale populatie laag uitkomt (figuur 3-3), lijkt te worden veroorzaakt door de bijzondere positie van de groep meerpersoonshuishoudens met kinderen die elektrisch kookt. Zij verbruiken relatief veel gas buiten het stookseizoen waardoor deze groep een bijzonder hoge baseline heeft. Daardoor zouden met de gehanteerde benadering de meerpersoonshuishoudens met kinderen uitkomen op een negatief aandeel voor koken. Van deze groep mag echter juist worden verwacht dat het aandeel voor koken relatief hoog zou uitkomen vergeleken met bijvoorbeeld de eenpersoonshuishoudens. Het lijkt met deze uitkomsten dan ook aannemelijker dat de inschatting van de 2% voor koken in het panel wat hoger ligt dan lager en bijvoorbeeld uitkomt rond de 3 á 4% die gemiddeld in figuur 3-4 zichtbaar is.

Samenstelling huishouden

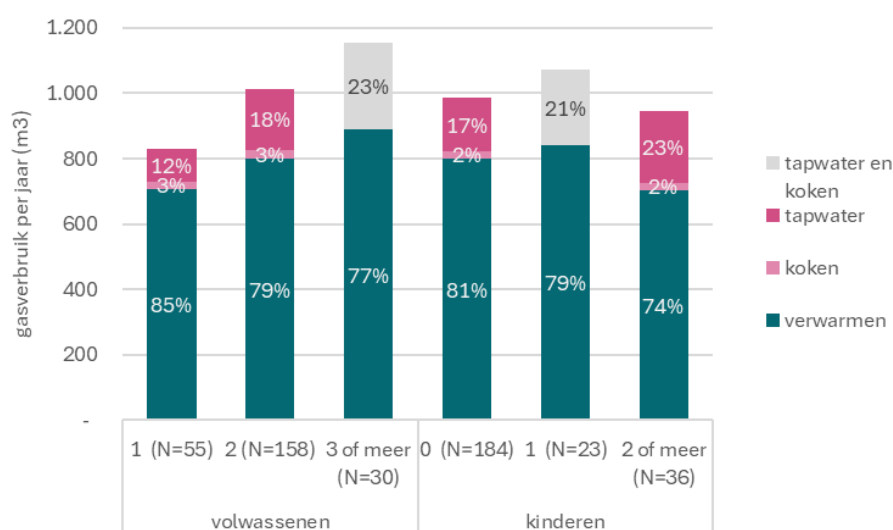
Het aantal volwassenen in het huishouden¹⁴ hangt samen met het gasverbruik (figuur 3-5). Hoe meer volwassenen, hoe meer gasverbruik, maar ook hoe groter het aandeel dat wordt gebruikt voor koken en het verwarmen van warm tapwater. Er is geen eenduidige relatie tussen het aantal kinderen in het huishouden en het gasverbruik of het aandeel dat wordt gebruikt voor verwarming van warm tapwater en koken. De aanwezigheid van kinderen levert wel een meerverbruik op ten opzichte van de eenpersoonshuishoudens, maar dat bleek ook al uit figuur 3-4.

Opvallend is het grote aandeel gas dat wordt gebruikt voor koken en warm tapwater in huishoudens met twee of meer kinderen (25%). Zeker gezien het relatief lage totaalverbruik in deze groep is het bijzonder dat het aandeel dat wordt gebruikt voor verwarming laag is. Bij de andere uitsplitsingen (naar type huishoudens en naar aantal volwassenen) gaat een laag totaalverbruik immers samen met een hoog aandeel voor ruimteverwarming.

De gevonden verschillen komen overeen met de verwachtingen: gasverbruik voor ruimteverwarming hangt minder samen met het aantal leden in een huishouden dan gasverbruik voor koken en warm tapwater.

¹⁴ Tot de groep met één volwassene behoren zowel de eenpersoonshuishoudens als de eenoudergezinnen.

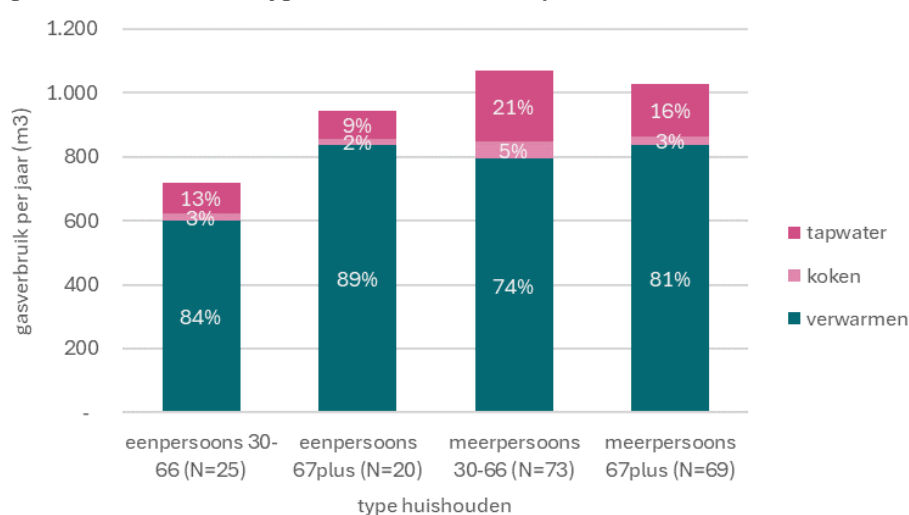
figuur 3-5 Jaarlijks gasverbruik en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, tapwater en koken, naar aantal volwassenen en aantal kinderen



3.3.3 Leeftijd

Voor de een- en meerpersoonshuishoudens zonder kinderen kan een uitsplitsing naar leeftijdsgroepen¹⁵ worden gemaakt (de huishoudens met kinderen behoren alle tot de leeftijdsgroep 30-66 jaar). Dan valt op dat – aanvullend op de verschillen tussen de een- en meerpersoonshuishoudens - de oudere huishoudens relatief wat meer gas verbruiken om te verwarmen en de jongere huishoudens meer om te koken en voor warm tapwater (figuur 3-6).

figuur 3-6 Jaarlijks gasverbruik en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, tapwater en koken, naar type huishouden en leeftijd



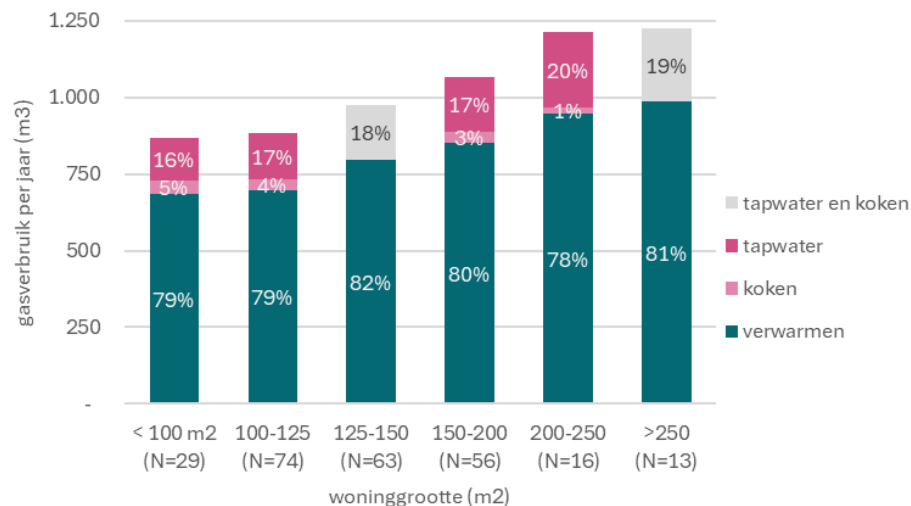
¹⁵ Hierbij wordt uitgegaan van de leeftijd van het oudste gezinslid. Als een huishouden bestaat uit een persoon van 45 en een van 67 wordt dit huishouden tot de leeftijdsgroep 67-plus gerekend.

Deze verschillen komen overeen met wat daarover in de literatuur wordt gerapporteerd. Ouderen hebben aan de ene kant meer behoefte aan hogere temperaturen in huis en zijn vaker thuis. Aan de andere kant douchen ouderen minder frequent dan jongere personen. Daarnaast zijn er in de oudere huishoudens vaker geen kinderen, wat binnen die groep de kans op een lager gasverbruik voor koken en warm tapwater waarschijnlijk maakt.

3.3.4 Woninggrootte

Woninggrootte hangt sterk samen met het totale gasverbruik in de woning (figuur 3-7). Dat geldt echter minder voor de verdeling van de aandelen. Het verschil in aandelen gasverbruik voor verwarming tussen grote en kleine woningen in de verdeling van het gasverbruik is minder groot dan tussen verschillende typen huishoudens en leeftijden.

figuur 3-7 Jaarlijks gasverbruik en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, naar woninggrootte



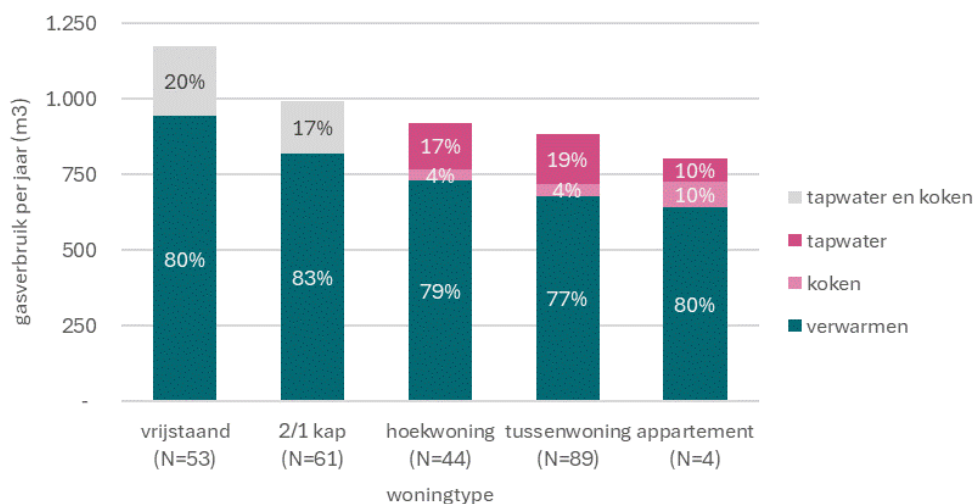
Het aandeel voor verwarming varieert tussen de 78% en 82% en hangt niet systematisch samen met woninggrootte, terwijl dat tussen tweepersoonshuishoudens van 30-66 jaar en eenpersoonshuishoudens van 67 jaar of ouder varieert tussen 74% en 89%. Het aandeel dat wordt gebruikt voor warm tapwater verschilt ook niet veel tussen woninggroottes en ligt tussen de 16% en 20%.

Bij twee woninggrootte-klassen kon het verbruik voor warm tapwater niet worden uitgesplitst omdat het verbruik buiten het stookseizoen in de woningen waar elektrisch wordt gekookt hoger lag dan in de woningen waarin op gas wordt gestookt.

3.3.5 Woningtype

Ook woningtype – net als woonoppervlak een indicator van het verliesoppervlak van een woning – hangt sterk samen met het totale jaarlijkse gasverbruik (figuur 3-8). Hoe meer verliesoppervlak, hoe groter het verbruik. Het aandeel van het gasverbruik dat wordt gebruikt voor verwarming hangt niet systematisch samen met het woningtype zoals in dezelfde figuur kan worden gezien. Naar het zich laat aanzien zijn de verschillen tussen huishoudens hierin een belangrijker factor (zie paragraaf 3.3.2).

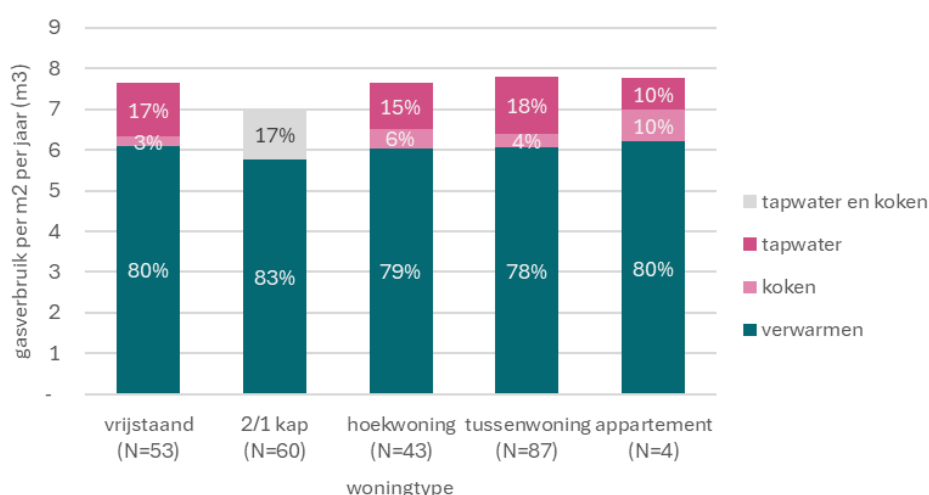
figuur 3-8 Jaarlijks gasverbruik en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, naar woningtype¹⁶



Bij de vrijstaande woningen en de twee-onder-een-kapwoningen kon het verschil tussen het aandeel dat wordt gebruikt voor koken en voor verwarmen van tapwater niet goed worden gemaakt door de hoge verbruiken (en dus de hoge baselines) in de woningen waar elektrisch wordt gekookt. Het lijkt aannemelijk dat in deze segmenten de grotere huishoudens wonen die een grote variatie hebben in energiegebruik en die in het bijzonder in de woningen waar elektrisch wordt gekookt een hoog gasverbruik kennen.

In de verbruiken van de verschillende woningtypen klinkt woninggrootte door. Als het verbruik per vierkante meter woonoppervlak wordt uitgedrukt, zijn er nauwelijks verschillen in verbruik tussen woningtypen (figuur 3-9).

figuur 3-9 Jaarlijks gasverbruik per m² woonoppervlak en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, naar woningtype



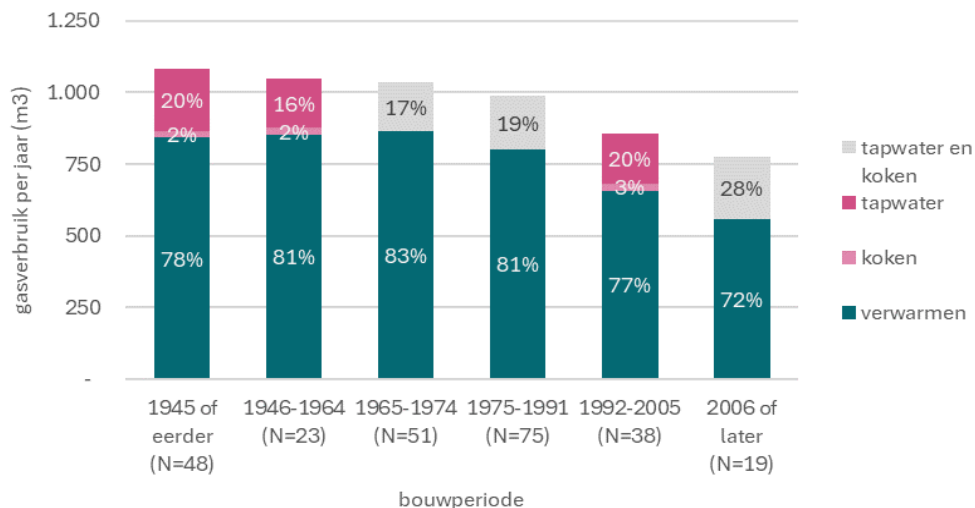
¹⁶ Het aantal appartementen is vanzelfsprekend te gering om algemene conclusies aan te verbinden. Ze zijn voor de volledigheid toegevoegd.

De aandelen zijn grotendeels gelijk aan die in figuur 3-8. Verschillen ontstaan door ontbrekende waarden bij woonoppervlak en doordat de correctie voor woonoppervlak in de vergelijkingsgroep waarin elektrisch wordt gekookt tot een andere baseline leidt. Bij de vrijstaande woningen is daardoor wel een onderscheid mogelijk tussen gasverbruik voor warm tapwater en voor koken en in de hoekwoningen ontstaat een wat andere verhouding dan in figuur 3-8.

3.3.6 Bouwperiode

Oudere woningen zijn vaak minder zuinig dan meer recent gebouwde woningen. Dat is ook goed terug te zien in de relatie tussen het totale gasverbruik in de woningen en de bouwperiode (figuur 3-10). In de woningen die na 2005 zijn gebouwd is het gasverbruik het kleinst én is het aandeel van het gasverbruik dat wordt aangewend voor verwarming van de woning het kleinst. De verschillen tussen de woningen met bouwperiodes tot 1975 zijn beperkt.

figuur 3-10 Jaarlijks gasverbruik en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, naar bouwperiode

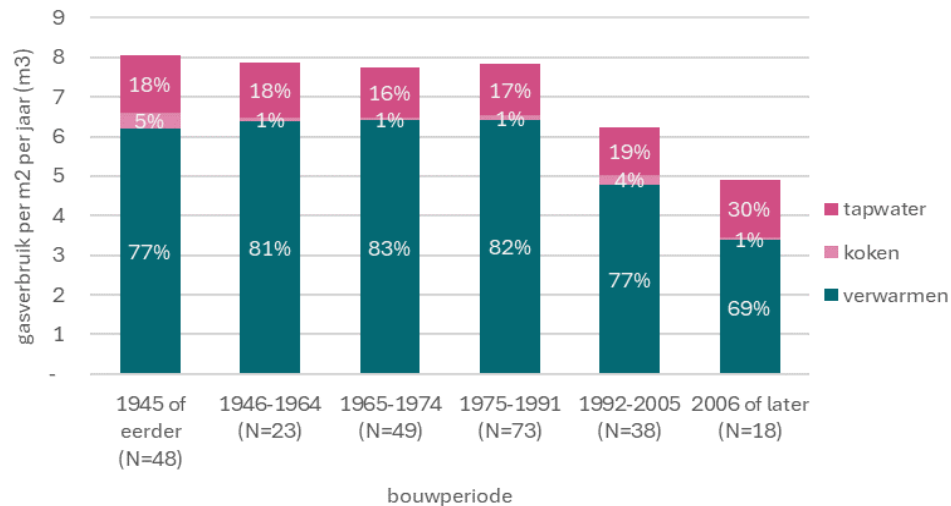


Dat de recent gebouwde woningen het zuinigst zijn, wordt nog wat scherper geïllustreerd als het verbruik per m² woonoppervlak wordt beschouwd (figuur 3-11).¹⁷ Tussen de bouwjaren tot en met 1991 zijn de verschillen in verbruik zeer beperkt en ligt het aandeel gasverbruik voor ruimteverwarming relatief hoog. In de woningen van 2006 of later komt het verbruik per vierkante meter uit op iets meer dan de helft van dat in de woningen die voor 1992 zijn gebouwd en wordt beduidend minder gas verbruikt voor ruimteverwarming.

Het is aannemelijk dat de verschillen tussen bouwperiodes voor een groot deel te maken hebben met de isolatiegraad. Die kan vanzelfsprekend door na-isolatie ook verschillen tussen woningen die voor 1992 zijn gebouwd. Om die reden wordt hierna ook nog specifiek in gegaan op de relatie met de isolatiegraad – zoals opgegeven door de bewoner.

¹⁷ In deze analyse vervalt id-koppel 2312 bij bouwjaar 2006 of later. Deze paneldeelnemer heeft een relatief hoog verbruik en heeft een woonoppervlak van 23 meter (tussenwoning van drie verdiepingen) ingevuld. Deze waarde wordt als 'missing' gekwalificeerd.

figuur 3-11 Jaarlijks gasverbruik per m² woonoppervlak en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, naar bouwperiode



3.3.7 Isolatie

Om te kunnen analyseren in welke mate de isolatie van de woning samenhangt met het gasverbruik en wat het aandeel is dat voor verwarming wordt aangewend, is een nadere selectie binnen het panel noodzakelijk ten opzichte van de selectie die in paragraaf 3.2.2 is beschreven. Naast dat er geen wijzigingen in installaties voor verwarming, warm tapwater en koken én in de samenstelling van het huishouden zijn geweest gedurende de meetperiode, mag dat ook niet het geval zijn voor de isolatie. We analyseren in deze paragraaf de woningen op basis van de isolatiegraad die men bij eerste enquêtering had omdat we voor die selectie de meeste slimme-meterdata op maandbasis hebben. In een deel van de woningen was er voorafgaand aan de enquêtering geïsoleerd. Dan wordt de slimme-meterdata gebruikt die betrekking heeft op de periode nadat is geïsoleerd. Als er vervolgens op een later moment (na de enquêtering) verder wordt geïsoleerd, worden de slimme-meterdata alleen tot dat moment gebruikt. Op die manier komt elke deelnemer in het panel slechts één keer (en met één specifieke isolatiekwaliteit) terug in de analyses.¹⁸

We starten met een univariate analyse van de verschillen naar type isolatie. In werkelijkheid bestaat er een samenhang tussen die verschillende typen. Als men slecht geïsoleerde gevels heeft, is de kans bijvoorbeeld groter dat ook het dak en de vloer slechts zijn geïsoleerd. Voor een deel zijn de effecten die bij een enkelvoudige analyse dan aan gevelisolatie worden toegeschreven mogelijk mede bepaald door de dakisolatie (en omgekeerd). Om dit te ondervangen wordt aan het eind van deze paragraaf gekeken naar de meer algemene isolatiegraad van de woning waarbij de isolatie van de verschillende bouwdelen wordt samengenomen.

Dakisolatie

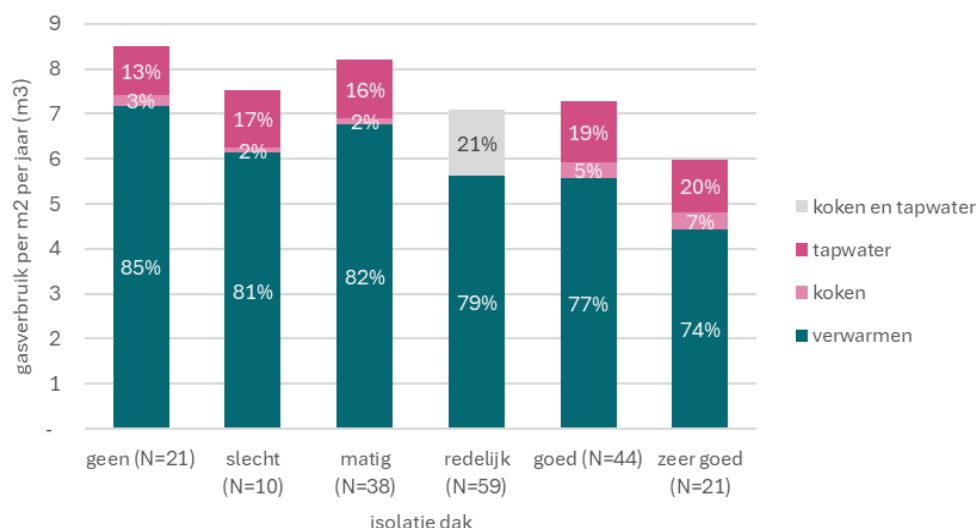
Er is op het eerste gezicht een vrij duidelijke relatie tussen de kwaliteit van de dakisolatie zoals bewoners die opgeven en het gasverbruik per vierkante meter (figuur 3-12). In de zeer goed geïsoleerde

¹⁸ Er had ook kunnen worden gekozen alleen de meest recente isolatiekwaliteit mee te nemen. Daar is niet voor gekozen zodat van een zo groot mogelijke sample van slimme-meterdata kan worden gebruik gemaakt.

woningen wordt zo'n 60% verbruikt van wat in de slecht geïsoleerde woningen wordt verbruikt. Het aandeel van het gasverbruik dat voor verwarming wordt gebruikt, neemt ook af met de isolatiegraad. Hoewel er wel een algemene trend te zien is, moet toch ook worden opgemerkt dat de verschillen tussen alle klassen niet bijzonder groot zijn en ook niet altijd conform verwachting. Zo verschilt het verbruik in de woningen met een goed geïsoleerd dak niet veel van dat in de woningen met een slecht geïsoleerd dak.

Er zijn relatief veel panelleden die geen goede inschatting konden maken van de isolatie van hun woning. Als wordt aangenomen dat deze groep niet heeft nageïsoleerd (dan is het aannemelijk dat men de isolatie wel zou kennen), kan de isolatiekwaliteit op grond van het bouwjaar worden geschat. Daarvoor hanteren we de 'vertaaltabel' (op basis van de indeling uit 'verbeterjehuis') die is weergegeven in Tabel 3-1. De resulterende verdeling (figuur 3-13) wijkt niet veel af van de originele, maar geeft wel een wat consistentere beeld. Woningen met een (verondersteld) goede dakisolatie presteren dan wel beter dan woningen met (verondersteld) slechte dakisolatie bijvoorbeeld.

figuur 3-12 Jaarlijks gasverbruik per m² woonoppervlak en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, naar isolatiegraad van het dak

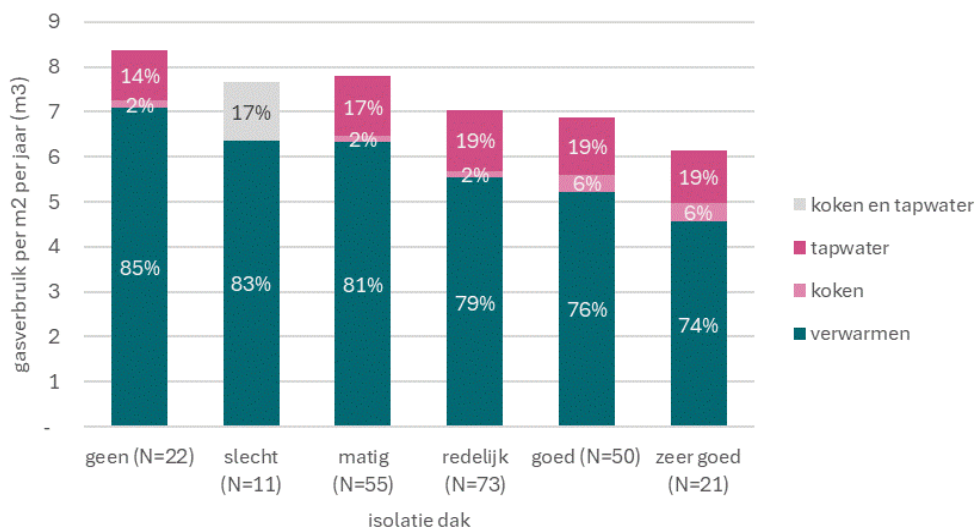


Tabel 3-1 Vertaaltabel bouwperiodes en isolatiegraad dak

bouwperiode	isolatie dak
1945 t/m 1964	Geen
1965-1974	Slecht (3 cm - Rc 0,8)
1975-1991	Matig (5 cm - Rc 1,3)
1992-2005	Redelijk (10 cm - Rc 2,4)
2006-2014	Goed (17 cm - Rc 4)
2015 of later	Zeer goed (26 cm, Rc 6)

In figuur 3-13 is goed te zien dat het aandeel gasverbruik voor verwarming afneemt met een betere isolatiegraad van het dak (van 85% in de slechtst geïsoleerde woningen tot 74% in de best geïsoleerde woningen). De aandelen gasverbruik voor koken en warm tapwater nemen daarmee ook toe met de isolatiegraad. Hoeveel daarvan voor warm tapwater en koken wordt gebruikt, hangt meer samen met de samenstelling van het huishouden dan met de kenmerken van de woning.

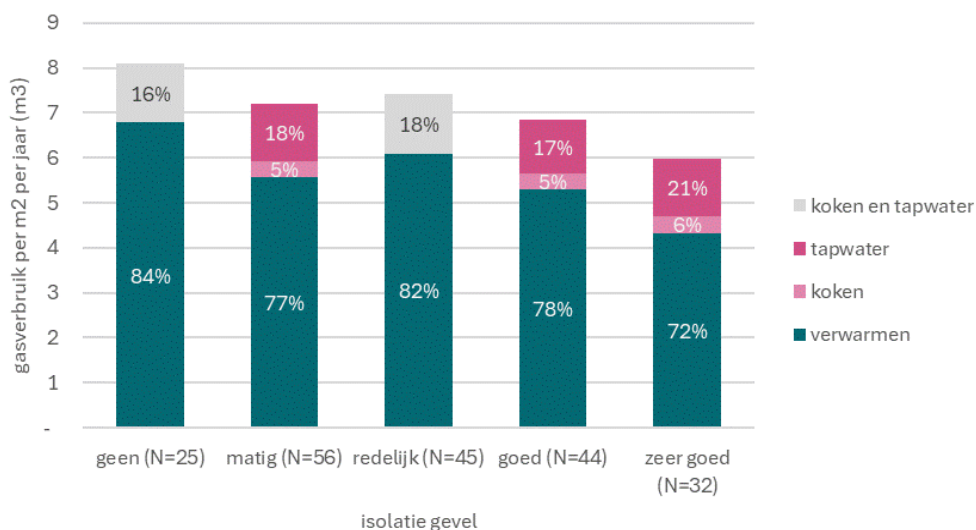
figuur 3-13 Jaarlijks gasverbruik per m² woonoppervlak en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, naar isolatiegraad van het dak inclusief bijschatting op basis van bouwjaar



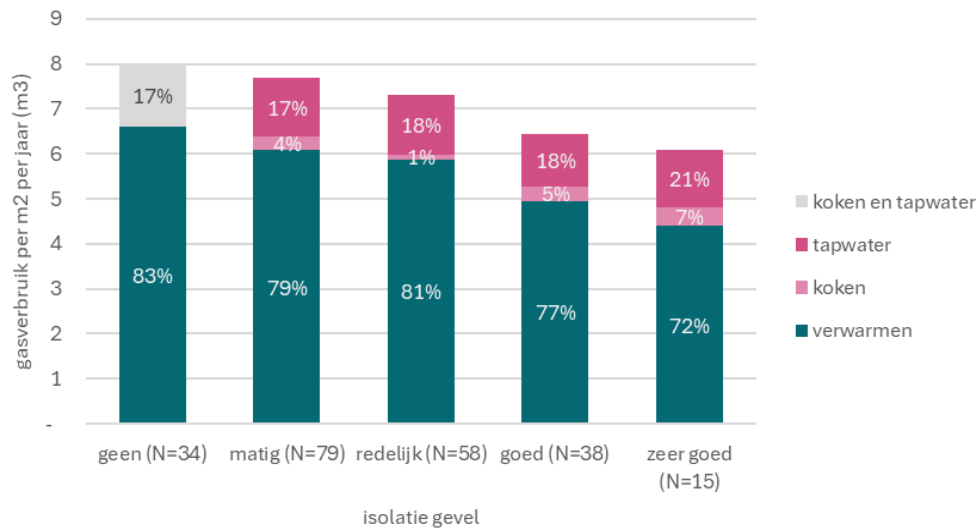
Gevelisolatie

Een betere gevelisolatie hangt samen met een lager gasverbruik voor met name ruimteverwarming (figuur 3-14). De relatie is weer iets eenduidiger (figuur 3-15) als de ontbrekende waarden worden bijgeschat (zie Tabel 3-2) op basis van het bouwjaar van de woning.

figuur 3-14 Jaarlijks gasverbruik per m² woonoppervlak en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, naar isolatiegraad van de gevel



figuur 3-15 Jaarlijks gasverbruik per m² woonoppervlak en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, naar isolatiegraad van de gevel inclusief bijschatting op basis van bouwjaar



Tabel 3-2 Vertaaltabel bouwperiodes en isolatiegraad gevel

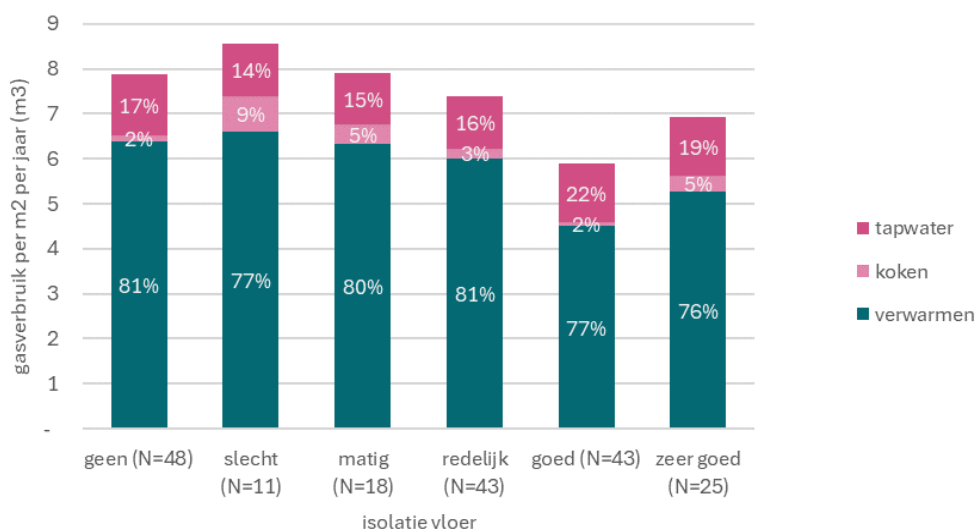
bouwperiode	isolatie gevel
1945 t/m 1964	Geen
1965-1974	slecht (ontbreekt in de vragenlijst)
1975-1991	Matig (7 cm - Rc 1,9)
1992-2005	Redelijk (10 cm - Rc 2,6)
2006-2014	Goed (16 cm - Rc 3,9)
2015 of later	Zeer goed (21 cm - Rc 5)

Vloerisolatie¹⁹

De samenhang tussen vloerisolatie en gasverbruik t.b.v. verwarming is minder eenduidig dan voor dak- en gevelisolatie (figuur 3-16). In het bijzonder is het opvallend dat het verbruik per vierkante meter relatief hoog is in de groep die aangeeft een 'zeer goede' vloerisolatie in de woning te hebben. Bijschatting van de isolatiegraad (zie Tabel 3-3) als men heeft aangegeven het niet te weten, verandert dit beeld niet (figuur 3-17). Geen tot en met matige isolatie hangt samen met een relatief hoog gasverbruik voor ruimteverwarming. Bij een betere vloerisolatie is het verbruik lager, maar de verschillen zijn beperkt. De invloed van vloerisolatie lijkt daarmee minder groot dan van dak en gevelisolatie.

¹⁹ Van id: 4029 is de isolatiegraad van de vloer aangepast van 'zeer goed' naar 'redelijk' conform de isolatiegraad van de overige bouwdelen. De verbruiken van de resterende panelleden hadden geen duidelijke outliers.

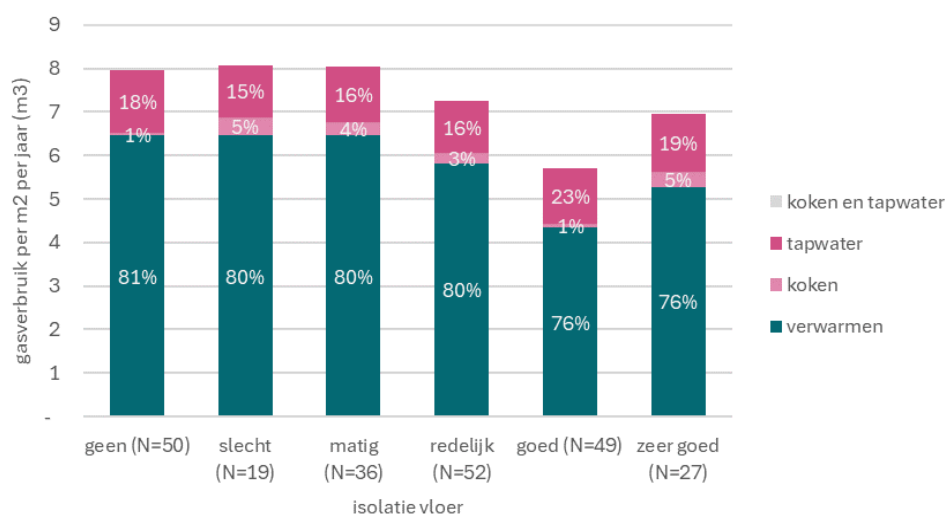
figuur 3-16 Jaarlijks gasverbruik per m² woonoppervlak en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, naar isolatiegraad van de vloer



Tabel 3-3 Vertaaltabel bouwperiodes en isolatiegraad vloer

bouwperiode	isolatie vloer
1945 t/m 1964	Geen
1965-1974	Slecht (3 cm - Rc 0,8)
1975-1991	Matig (5 cm - Rc 1,3)
1992-2005	Redelijk (9 cm - Rc 2,2)
2006-2014	Goed (16 cm - Rc 3,7)
2015 of later	Zeer goed (22 cm, Rc 5)

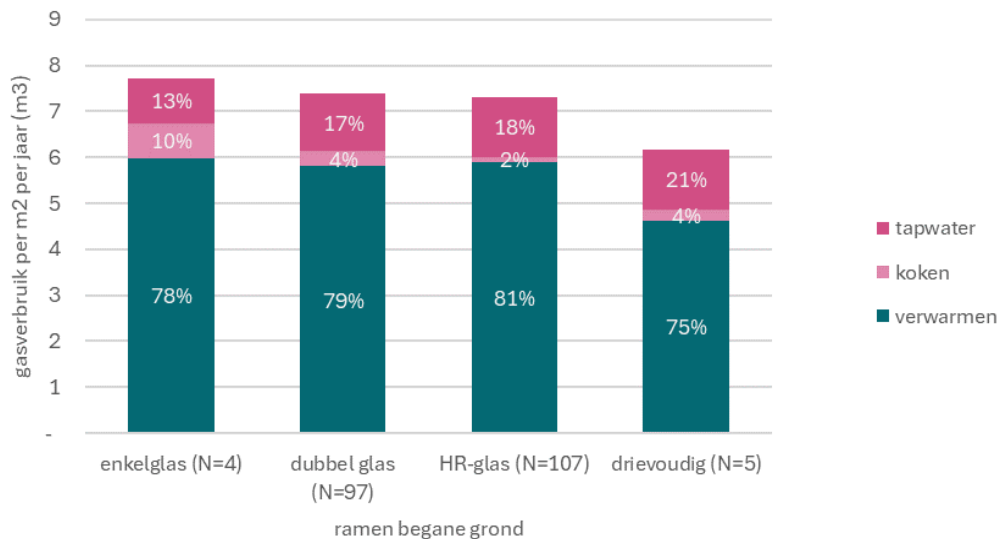
figuur 3-17 Jaarlijks gasverbruik per m² woonoppervlak en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, naar isolatiegraad van de vloer inclusief bijschatting op basis van bouwjaar



Ramen

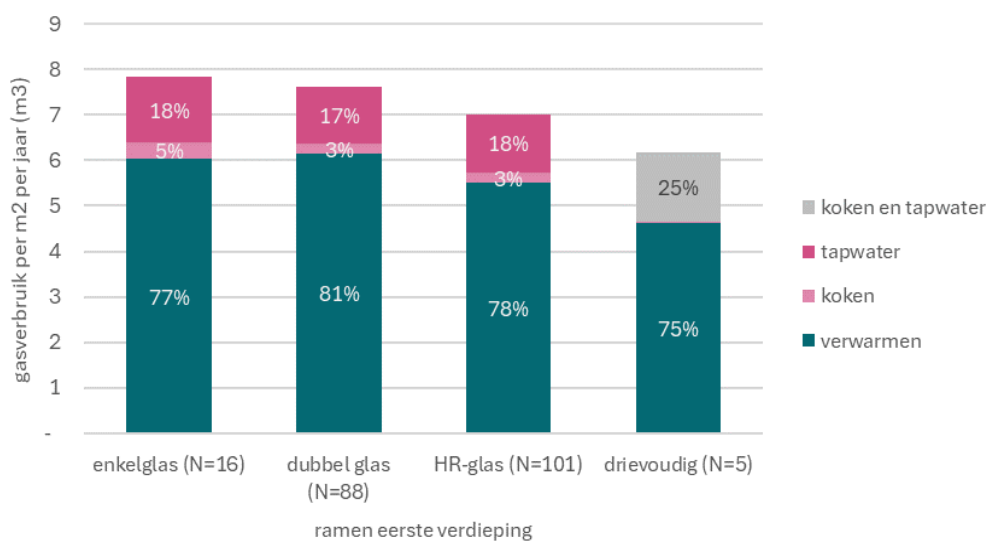
Voor raamisolatie is er geen onderscheid in slecht of zeer goed. Wel worden typen ramen onderscheiden: enkelglas, dubbelglas, HR-glas, tripelglas en vacuümglas. Verder wordt per verdieping uitgevraagd welke type glas men daar heeft, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen begane grond, eerste verdieping, tweede verdieping, derde verdieping en kelder/souterrain. Als een woning een bouwdeel niet heeft, wordt 'n.v.t.' ingevuld door de client en wordt dit verder niet meegerekend. In de navolgende figuren kan dan bijvoorbeeld worden gezien dat wat meer panelleden enkel glas op de eerste verdieping hebben (figuur 3-19) dan op de begane grond (figuur 3-18). Vacuümglas komt niet voor in dit deel van het panel (woningen waar koken, verwarmen van tapwater en ruimteverwarming met gas plaatsvindt) en tripelglas is zeldzaam (N=5).

figuur 3-18 Jaarlijks gasverbruik per m² woonoppervlak en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, naar type glas op de begane grond

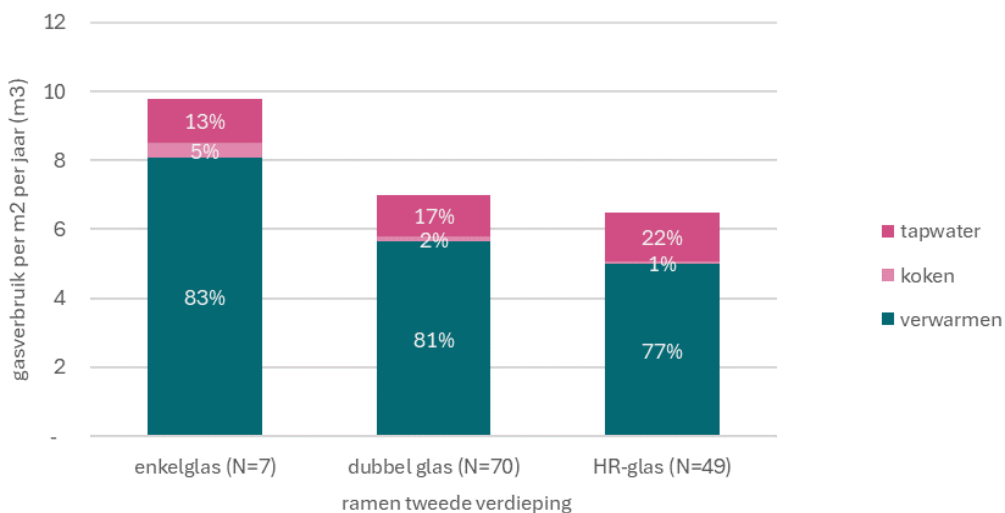


In de navolgende figuren kan worden gezien dat het type glas samenhangt met gasverbruik voor ruimteverwarming. Tegelijkertijd zijn de verschillen niet bijzonder groot, zeker niet tussen dubbelglas en HR-glas (de meest voorkomende vormen) op de begane grond (figuur 3-18). Hier speelt mogelijk dat er geen nadere specificatie is uitgevraagd van het HR-glas (+, ++, +++). Ook is niet bekend of het genoemde type glas in alle ramen zit, of slechts in een deel. In de woningen met tripelglas is het aandeel gasverbruik voor ruimteverwarming wel vrij laag, evenals het totale gasverbruik. Dat gaat echter om zeer weinig woningen. In die woningen is het aannemelijk dat de andere bouwdeelen ook goed zijn geïsoleerd.

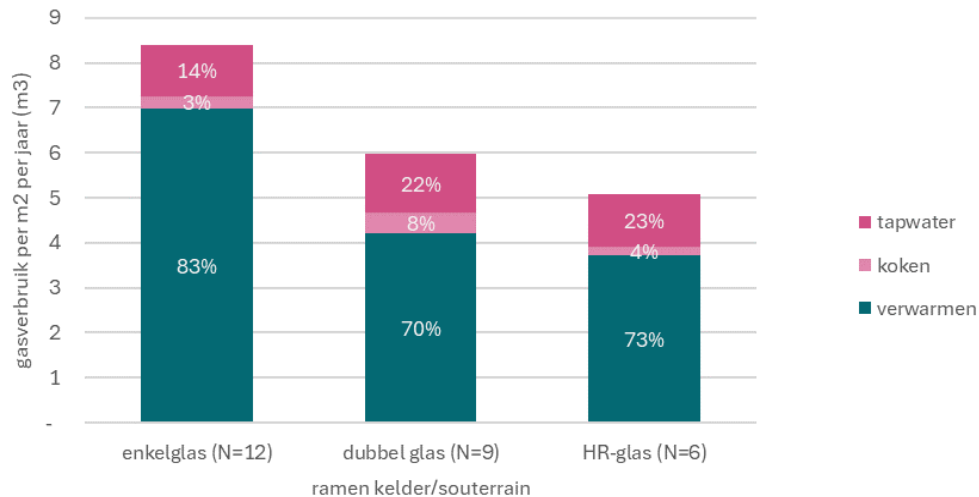
figuur 3-19 Jaarlijks gasverbruik per m² woonoppervlak en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, na ar type glas op de eerste verdieping



figuur 3-20 Jaarlijks gasverbruik per m² woonoppervlak en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, naar type glas op de tweede verdieping



figuur 3-21 Jaarlijks gasverbruik per m² woonoppervlak en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, naar type glas in kelder/souterrain verdieping



Isolatie-index

De isolatie van de verschillende bouwdelen hangt met elkaar samen. In een goed geïsoleerde woning, zijn naar verwachting de meeste bouwdelen goed geïsoleerd en wordt HR-glas toegepast. Omgekeerd, als er in een woning enkelglas zit, zal het – naar verwachting – niet veel voorkomen dat de gevels goed geïsoleerd zijn, tenzij men in een verbouwing zit waar de bouwdelen een voor een worden aangepakt. Toch is die samenhang in het panel minder sterk dan zou worden verwacht. Van de mensen die aangeven geen gevelisolatie te hebben, geeft toch nog zo'n 40% aan dat de dakisolatie redelijk tot zeer goed is (figuur 3-22). De samenhang tussen gevel- en dakisolatie is het duidelijkst binnen de woningen met een zeer goede gevelisolatie. Daarvan heeft 60% ook een zeer goede dakisolatie. De relatief beperkte samenhang kan duiden op hoe lastig het is voor bewoners om aan te geven wat de isolatiekwaliteit van de woning is.

figuur 3-22 Verdeling dakisolatie naar niveau van gevelisolatie in gaswoningen

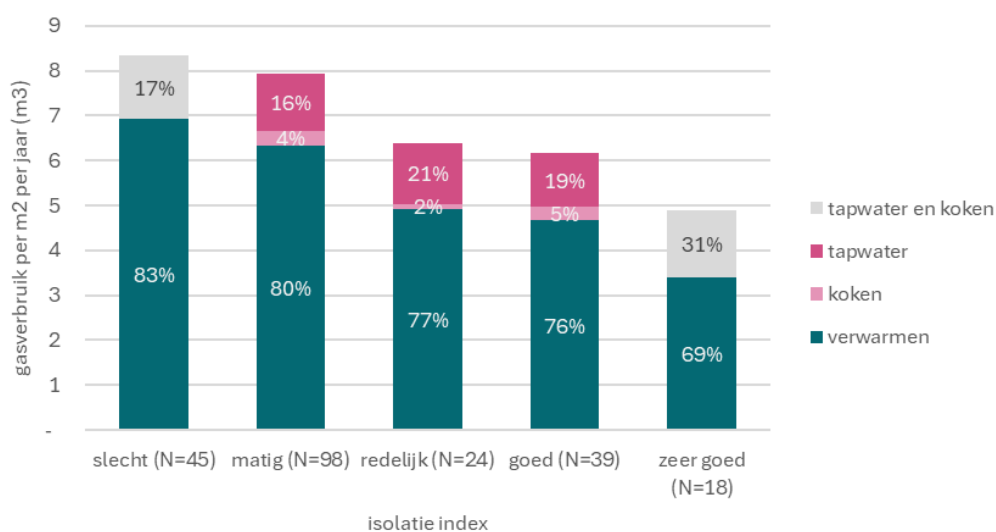


Van zowel de dakisolatie als de gevelisolatie is getoond dat die samenhangen met het aandeel gasverbruik voor ruimteverwarming. In minder mate is dat ook het geval voor vloer- en raamisolatie. Daarnaast werd duidelijk dat bouwjaar een toegevoegde waarde heeft voor panelleden die onbekend zijn met de isolatie van hun woning. Verder ligt het in de rede om alle woningen die na 2006 zijn gebouwd minimaal als 'goed geïsoleerd' te kwalificeren en alles van na 2015 als 'zeer goed' geïsoleerd. Om tot een gecombineerde index te komen, wordt de volgende weg gevolgd:

- Codering isolatiegraad per bouwdeel inclusief bouwperiode bij 'weet niet' ;
- Combinatie van raamisolatie tot gemiddelde waarde voor de verdiepingen die van toepassing zijn;
- Gewogen combinatie van isolatie bouwdelen en raamisolatie met factor 1,5 voor gevel en dak en 1 voor vloer en ramen;
- Indeling van de isolatiegraad in 5 klassen o.b.v. gewogen gemiddelden;
- Harde toewijzing:
 - bouwperiode 1992-2005 → goed;
 - bouwperiode 2006 en later → zeer goed.

De relatie tussen de op deze manier bepaalde isolatiegraad van de woning en het jaarlijks gasverbruik is weergegeven in figuur 3-23. Vergeleken met figuur 3-11 valt op dat er een sterkere samenhang is tussen de isolatiegraad en gasverbruik voor verwarming dan als alleen naar de bouwperiode wordt gekeken. In het stookseizoen zijn de verschillen significant. Erbuiten zijn ze dat, zoals verwacht, niet. Het gasverbruik voor verwarming in de categorie 'zeer goede isolatie' komt gemiddeld uit op 49% van het verbruik in de woningen met een 'slechte isolatie'. Dat is een substantieel verschil en illustreert in algemene zin het effect van isolatie binnen deze niet-representatieve selectie van woningen waarin op gas wordt gestookt.

figuur 3-23 Jaarlijks gasverbruik per m² woonoppervlak en inschatting van de verdeling ervan in gaswoningen over verwarming, warm tapwater en koken, naar isolatiegraad van de woning



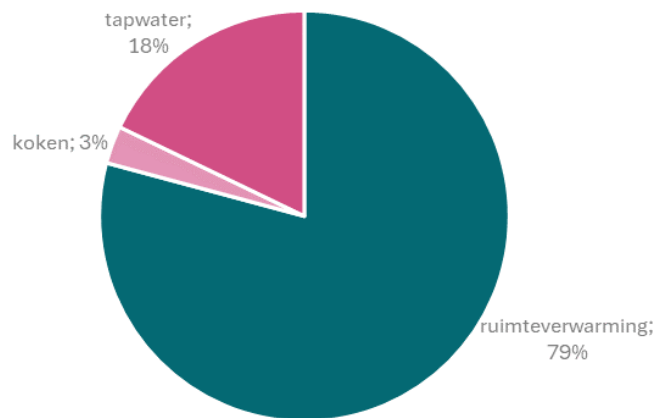
Het verschil in gasverbruik voor ruimteverwarming is – zoals zou mogen worden verwacht – groter dan dat voor het totale gasverbruik. De reden daarvoor is dat het gasverbruik voor warm tapwater en koken meer samenhangt met wie er in de woning wonen dan met hoe goed een woning is geïsoleerd.

Eenpersoonshuishoudens verbruiken minder gas voor koken en warm tapwater (14%) dan meerpersoonshuishoudens (23 á 24%, zie paragraaf 3.3.2), maar kunnen zowel in een goed geïsoleerde als in een minder goed geïsoleerde woning wonen.

Het verschil tussen de redelijk en goed geïsoleerde woningen is beperkt, evenals het verschil tussen de slecht en matig geïsoleerde woningen. Nadere analyse moet duidelijk maken waarom de verschillen tussen die klassen beperkt zijn. Het zal in ieder geval deels te maken hebben met de moeite die panelleden hebben om de isolatiekwaliteit van hun woning aan te duiden.

Binnen de selectie van gaswoningen waarin ook is gecontroleerd voor een constant isolatieniveau is de verdeling van gasverbruik tussen ruimteverwarming, koken en verwarmen van tapwater gemiddeld over een jaar: 79%, 3% en 18% (figuur 3-24). Deze verdeling beschouwen we als de uitkomst van de verdeling voor de gaswoningen in het panel en vervangt de verdeling in paragraaf 3.3.1.

figuur 3-24 Gemiddelde verdeling gasverbruik in gaswoningen over ruimteverwarming, warm tapwater en koken



3.4 Conclusies

Aandelen komen overeen met literatuur

De in het panel gevonden aandelen voor ruimteverwarming, verwarmen warm tapwater en koken in de periode 2021 t/m 2024 zijn vrijwel gelijk aan wat in de literatuur wordt vermeld en vallen binnen de betrouwbaarheidsmarges. Het aandeel dat wordt gebruikt voor koken lijkt iets hoger te liggen dan in de literatuur en het aandeel voor het verwarmen van warm tapwater wat lager. Maar, zoals gezegd, het zijn zeer beperkte verschillen.

Gezien de verduurzaming van de woningvoorraad die er is geweest na het moment waarop de aandelen zijn bepaald (jaren '00) had kunnen worden verwacht dat het aandeel gasverbruik voor met name ruimteverwarming tegenwoordig lager zou liggen. Dat dit nu niet wordt gevonden, kan te maken hebben met de selectieve samenstelling van het panel. Hierin zijn grotere woningen waarin deels nog wordt verduurzaamd oververtegenwoordigd en ontbreken appartementen en recente woningen nagenoeg geheel. Juist in die laatste typen ligt het gasverbruik voor verwarming normaal gesproken lager. Omdat die die nu ontbreken, komt het gemiddelde naar verwachting dan ook hoger uit dan wanneer de gehele woningvoorraad zou zijn geanalyseerd.

Grote verschillen tussen huishoudens en woningtypen

De aandelen die voor de verschillende functies worden gebruikt, verschillen sterk tussen typen huishoudens en woningen. Deze verschillen zijn zoals zou mogen worden verwacht. Eenpersoonshuishoudens gebruiken relatief weinig gas voor koken en warm tapwater en gezinnen met kinderen juist meer. Ouderen gebruiken relatief veel gas voor ruimteverwarming en juist weinig voor warm water.

Woninggrootte varieert, eveneens zoals zou mogen worden verwacht, met hoeveel gas er in totaal wordt verbruikt in de woning, maar doet dat niet met hoe de aandelen voor verwarming, warm tapwater en koken zijn verdeeld. Ook voor woningtype wordt geen systematische relatie gevonden met de verdeling van het gasverbruik over de gebruiksfuncties. Dit is niet volgens verwachting omdat een groter verliesoppervlak (vrijstaande woningen) logischerwijs samen zou moeten hangen met een groter aandeel voor ruimteverwarming dan een kleiner verliesoppervlak (tussenwoningen of appartementen). Mogelijk zijn de verwachte verschillen tussen woningtypen wel zichtbaar als wordt gecontroleerd voor de isolatie van de woningen en voor de (kenmerken van de) huishoudens die erin wonen. Dat is in dit hoofdstuk niet gedaan maar kan voor de toekomst nuttig zijn.

Dat een correctie voor isolatiegraad zinvol is, wordt ondersteund doordat er betekenisvolle relaties zijn gevonden voor de isolatie van de woning. Isolatie hangt zowel samen met hoeveel gas er wordt verbruikt als met de verdeling ervan over de gebruiksfuncties. Hoe beter geïsoleerd, hoe minder gas wordt verbruikt en hoe kleiner het aandeel dat wordt gebruikt voor ruimteverwarming. Bij de isolatie van de afzonderlijke bouwdelen, wordt vooral voor gevel- en dakisolatie een sterke samenhang gevonden met ruimteverwarming. Dat de invloed van raamisolatie beperkt lijkt, kan liggen aan de (te) eenvoudige meting ervan in de vragenlijst.

Huishoudens vinden het vaak lastig om de kwaliteit van de isolatie van hun woning te benoemen. Door gebruik te maken van een combinatie van wat zij wel weten en van de bouwperiode van hun woning, is een index opgesteld die een bruikbare benadering lijkt voor de isolatiekwaliteit van de woning. Deze verklaart namelijk meer verschillen dan elk van de 'losse' isolatiegraden.

Representativiteit

Zoals eerder aangegeven is het panel niet representatief. Er zijn weinig of geen appartementen in de woning. Daarnaast zijn er weinig recente woningen en ontbreken het huursegment en – naar we aannemen – huishoudens die hun woning huren en/of een lagere sociaaleconomische status hebben. Het is op voorhand niet goed te zeggen wat dit exact voor vertekening van de resultaten met zich meebrengt. Het is echter waarschijnlijk dat in met name appartementen (minder verliesoppervlak) en recente woningen (betere isolatie) gemiddeld genomen minder gas wordt verbruikt voor verwarming.

De verschillen met andere dan gemeten woning/huishoudenssegmenten kunnen niet eenduidig worden afgeleid uit de verschillen die wel bekend zijn. Zoals getoond, hangt het aandeel gasverbruik voor ruimteverwarming vooral samen met huishoudensgrootte en met warmtebehoefte (leeftijd). Er zijn echter ook andere kenmerken die samenhangen met meer warmtebehoefte, zoals specifieke migratieachtergronden. Bewoners van appartementen zijn vaker eenpersoonshuishoudens en ouder én hebben vaker een migratieachtergrond. Die kenmerken brengen een relatief grote warmtebehoefte met zich mee. Dit kan de verwachte kleinere aandelen gasverbruik voor ruimteverwarming in appartementen op basis van de bouwfysische kenmerken mogelijk compenseren. Aan de andere kant is het denkbaar dat juist als men minder te besteden heeft, er ook minder energie wordt gebruikt om te stoken (maar mogelijk ook voor warm tapwater). Kortom, het is geen eenduidig uit te maken zaak in hoeverre de in het panel gevonden uitkomsten afwijken van wat in de gehele populatie zou worden gevonden, al lijkt het aannemelijk dat het aandeel voor ruimteverwarming hoger ligt dan in de gehele populatie.

4 Patronen energiegebruik

Slimme-meterdata bieden kansen om met verbruikspatronen gedurende een etmaal en op verschillende dagen of delen van het jaar inschattingen te maken van hoe een woning/huishouden is ‘georganiseerd’. Dat wil zeggen, over welke installaties en apparaten het beschikt en wanneer die worden gebruikt, of men een elektrische auto thuis oplaadt, hoe goed de woning is geïsoleerd, wanneer er wordt verwarmd of gekoeld en mogelijk zelfs hoeveel leden een huishouden heeft, wat de sociaaleconomische positie van een huishouden is en of men zich zuinig gedraagt of niet.

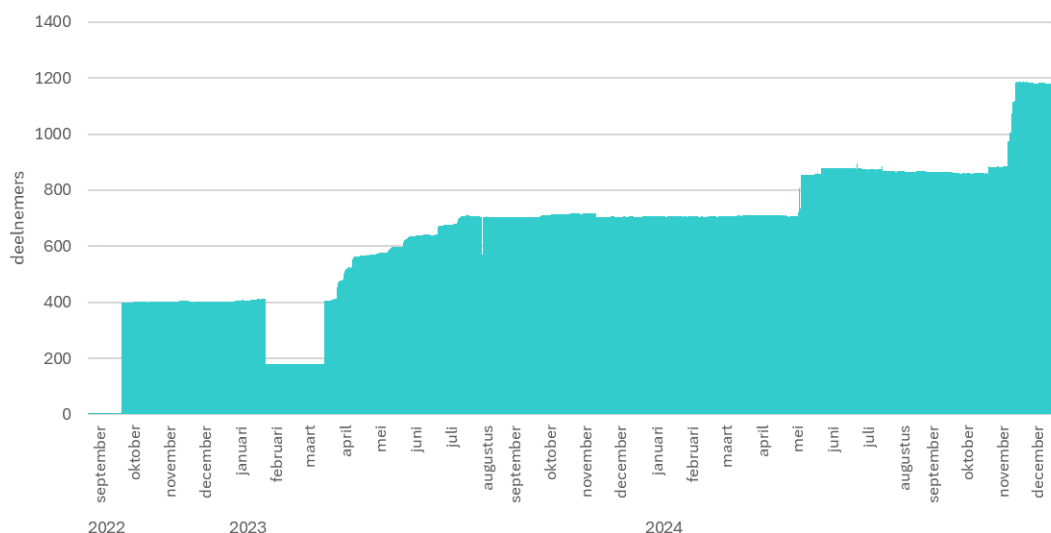
In de (interne) rapportage over de effecten van verduurzaming is ingegaan op patronen die samenhangen met de aanwezigheid van warmtepompen.²⁰ In paragraaf 4.2.1 van het voorliggende rapport wordt aandacht besteed aan de elektrische auto en hoe die kan worden herkend in verbruikspatronen. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op andere elektrische apparaten en de vaatwasser in het bijzonder.

4.1 Methode

De methode is exploratief: we verkennen hoe de verbruikspatronen van concrete huishoudens eruit zien in een specifieke periode. Het doel is om daaruit af te leiden – in combinatie met wat het huishouden zelf aangeeft aan apparaten te bezitten en met algemene informatie over het energiegebruik van de betreffende apparaten – wanneer, welke apparaten worden gebruikt. Daarbij wordt gezocht naar aangrijpingspunten voor ‘voorspellers’ van dit gebruik en verschillen tussen huishoudens.

We maken gebruik van de uurdata²¹ van het panel zoals die beschikbaar waren per half maart 2025. De daarin op elk moment beschikbare aantallen cases zijn weergegeven in figuur 4-1.

figuur 4-1 Aantal cases in het panel met gegevens op uurniveau in de periode september 2022 t/m december 2024



²⁰ Republiq (2025), Rapportage Monitoring energiegebruik en verduurzaming, Republiq i.o.v. RVO.

²¹ Bij de analyses voor dit rapport waren de kwartierdata niet beschikbaar.

In figuur 4-1 kan de gestage groei van het panel worden gezien: van 3 deelnemers aan het begin tot 1.180 aan het eind van deze periode. Er is een ‘gat’ in februari/maart 2023 waar de data van ruim 200 deelnemers ontbreken. Dit is te herleiden tot onvolkomenheden in de levering van de data. De procedures zijn inmiddels aangepast zodat deze gaten worden gerepareerd en in de toekomst voorkomen.

4.1.1 Uitgangspunten en basisgegevens

We richten ons in deze verkenning vooral op de vaatwasser, maar beschouwen daarnaast ook aanwijzingen voor gebruik van andere apparaten. De keuze voor de vaatwasser is vooral ingegeven door de verwachting dat het gebruik van de vaatwasser in veel huishoudens een vrij specifiek ‘tijdsslot’ heeft, in tegenstelling tot apparaten als de wasmachine en de wasdroger. Daardoor is de verwachting dat de vaatwasser beter detecteerbaar is. Ook is de verwachting dat vrij veel huishoudens erover beschikken. Een nadeel aan de keuze voor de vaatwasser is dat in de enquête niet is gevraagd naar het bezit ervan, noch naar de frequentie van gebruik. Daardoor is een eenduidige validatie van de bevindingen niet goed mogelijk en moet de exercitie ook vooral als verkennend worden gezien.

Verbruikskennmerken en bezit vaatwassers

Er zijn zuinige en onzuinige vaatwassers. Dit wordt weergegeven met energielabels. De zuinigste vaatwassers verbruiken ongeveer de helft van de elektriciteit van de minst zuinige (Tabel 4-1). Hierbij wordt uitgegaan van het verbruik met het eco-wasprogramma, dat volgens Milieu Centraal door de meeste huishoudens ook wordt gebruikt.²²

Tabel 4-1 Energielabel vaatwassers en energiegebruik per keer en per jaar²³

Label vaatwasser	kWh per keer	kWh per jaar (280 x per jaar)
A-10%	0,49	137
A	0,54	152
B	0,62	173
C	0,75	209
D	0,82	230
E	0,9	251
F	1	270

Het CBS (2021)²⁴ meldt over het bezit van vaatwassers dat bijna 76% van de personen erover beschikt. Onder personen die in een eenpersoonshuishouden wonen is dit aandeel kleiner: 47%. Onder degenen die in een huishouden van vier personen wonen daarentegen ligt het bezit op 89%. Het ligt voorts lager in de zeer sterk stedelijke gebieden (daar wonen ook relatief meer eenpersoonshuishoudens) en onder lage inkomens (dat zijn relatief vaak ook eenpersoonshuishoudens). Gemiddeld wordt de vaatwasmachine volgens het CBS 0,33 keer per persoon per dag gebruikt of 4,8 keer per week als wordt vermenigvuldigd met de gemiddelde huishoudensgrootte. In andere statistieken wordt uitgegaan van een gemiddeld gebruik van gemiddeld 5,4 keer per week (280 dagen in het jaar). Mogelijk heeft het

²² <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/apparaten-in-huis/ vaatwasser/>

²³ <https://www.coolblue.nl/advies/verbruik- vaatwasser.html>

²⁴ <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2022/watergebruik-thuis--wgt--2021/8-de- vaat-wasmachine-->

verschil ermee te maken dat de 5,4 betrekking heeft op huishoudens met een vaatwasser en dat in de 4,8 keer per week wordt uitgegaan van alle huishoudens.

Over het moment van de dag dat een vaatwasser wordt gebruikt, is niet heel veel bekend. De verwachting is dat dit vaak in de avond/nacht zal zijn, ondanks het beroep op huishoudens om vooral overdag – als de zon schijnt – apparaten te gebruiken die vrij veel energie gebruiken. Het daltarief en gebruiksgemak (gebruikte vaat bouwt zich op gedurende de dag en 's ochtend kan weer met een 'schone lei' worden begonnen) zijn daar vermoedelijk de oorzaak van. Ook het feit dat de vaatwasser minder trillingen en hoorbaar geluid met zich meebrengt dan de wasmachine en droger maakt gebruik in de nacht acceptabeler vergeleken met die apparaten. Het voordeel van gebruik in de avond/nacht is vanuit het perspectief van deze verkenning dat het gebruik daardoor beter kan worden gedetecteerd dan wanneer dit overdag plaatsvindt. Dan wordt het immers (deels) gemaskeerd door ander energiegebruik en door eigen opwek van pv-panelen (indien aanwezig).

De cyclus van een vaatwasbeurt kan worden verdeeld in fasen²⁵:

1. Afpompen restwater
2. Voorspoelen (koud)
3. Wassen (warm)
4. Spoelen (koud)
5. Spoelen (warm)
6. Drogen (condenseren)

De meeste energie wordt gebruikt voor het opwarmen van het water. Dit gebeurt twee keer tijdens een cyclus. Voor het opwarmen geldt: hoe hoger de temperatuur, hoe hoger het stroomverbruik. Bij het drogen zijn er verschillende methodes. De meest gebruikte is de condensdroogtechniek. Hierbij condenseert het warme water (na de warme spoelbeurt) op de koele wanden (vaak actief gekoeld door hier koud water langs te laten lopen) waarna het wordt afgevoerd. Daarnaast zijn er nog vaatwassers die automatisch opengaan, wat het drogen bevordert (al dan niet in combinatie met condensdroging) of die gebruik maken van zeolietkorrels. Dit laatste geeft het beste droogresultaat, maar wordt alleen toegepast in duurdere (en zuinigere) vaatwassers.

Voor een gemiddelde vaatwasser kan dus worden uitgegaan van twee 'piekmomenten' van energiegebruik gedurende een wascyclus. Deze liggen – bij een eco-programma waarin langzaam wordt verwarmd - circa twee uur uit elkaar en zouden per piek rond de 0,25 – 0,5 kWh (boven baseline) moeten uitkomen. In de tussenliggende periode is er ook elektriciteitsverbruik door de vaatwasser, namelijk voor pompen en 'draaien'. Het is lastig in te schatten hoeveel energiegebruik dit met zich meebrengt. Bij andere wasprogramma's dan het eco-programma liggen de pieken dichter op elkaar en kunnen ook binnen één uurinterval liggen. De 'uurpiek' kan in die gevallen een factor 2 hoger liggen dan wanneer de pieken worden verspreid over meerdere uurmetingen. Andersom kan een enkele piek (voor één verwarmingsperiode) in de registratie ook zijn verdeeld over twee meeturen omdat deze het uur overschrijdt. Dan kan die piek – bij evenredige verdeling - in beide uren een factor 2 lager dan wanneer dezelfde piek in één meetuur valt. Kortom, de potentiële spreiding van de grootte en de duur van pieken is groot en kan in de extremen wel een factor 16 verschillen (onzuinige vaatwasser x twee pieken in één uur = 2 kWh piek versus zuinige vaatwasser waarvan de piek is verdeeld over 2

²⁵ <https://www.degrotekeukengids.be/2016/11/de-basisprogrammas-en-hun-verloop.html>

meeturen levert $0,25 / 2 = 0,125$ kWh-piek). Het is overigens de vraag of die laatste nog detecteerbaar is binnen de variatie van het gebruik van andere apparaten.

Overige apparaten

De wasmachine en wasdroger opereren voor het elektriciteitsverbruik in min of meer dezelfde bandbreedte als de vaatwasser. De wasmachine komt gemiddeld wat lager uit in het verbruik en de wasdroger hoger. Maar veel hangt vanzelfsprekend af van hoe beide worden gebruikt. Ter referentie worden de verbruiken van beide apparaten – naar energielabel ook weergegeven. Het energiegebruik per droogbeurt is weergegeven in Tabel 4-2. Hiervoor zijn twee bronnen die niet hetzelfde verbruik weergeven, maar wel het beeld geven dat het verbruik van de droger per keer circa 2 á 3 keer hoger is dan dat van de vaatwasser. Er wordt uitgegaan van een gemiddelde verbruik in Nederland van 2,2 keer per week.

Tabel 4-2 Energielabel wasdrogers en energiegebruik per keer

Label wasdroger	kWh per droogbeurt	
	Milieucentraal ²⁶	Coolblue ²⁷
label A+++	0,80 kWh	1,09 kWh
label A++	1,10 kWh	1,47 kWh
label A+	1,45 kWh	1,93 kWh
Label A	---	3,51 kWh
label B	2,65 kWh	3,61 kWh
label C	2,85 kWh	

Het energiegebruik van wasmachines per keer is – uitgesplitst naar energielabel – weergegeven in Tabel 4-3. Hierin is te zien dat dit gemiddeld lager ligt dan het energiegebruik van een vaatwasser per keer. Als gemiddelde voor Nederland wordt ook wel uitgegaan van een verbruik van 0,75 kWh per keer.²⁸ Dat gemiddelde ligt relatief hoog omdat er in de populatie ook veel oudere wasmachines zijn. Er wordt aangenomen dat er gemiddeld in Nederland 4,2 keer per week wordt gewassen (220 keer per jaar).

Tabel 4-3 Energielabel wasmachines en energiegebruik per keer en per jaar²⁹

Label wasmachine	per keer	per jaar (220 keer)
A-20%	0,37 kWh	82 kWh
A-10%	0,41 kWh	91 kWh
A	0,45 kWh	99 kWh
B	0,52 kWh	114 kWh
C	0,59 kWh	130 kWh
D	0,69 kWh	152 kWh
E	0,78 kWh	172 kWh

²⁶ <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/apparaten-in-huis/wasdroger/>

²⁷ [Coolblue-advies: wat bespaar je met een nieuwe wasdroger](https://www.coolblue.nl/advies/wat-bespaar-je-met-een-nieuwe-wasdroger)

²⁸ <https://www.essent.nl/kennisbank/energie-besparen/energielabel/wasmachine>

²⁹ <https://www.coolblue.nl/advies/verbruik-wasmachine.html>

4.1.2 Selectie periode

Voor de verkenning van de patronen worden uurpatronen gedurende twee weken buiten het stookseizoen in beeld gebracht. We kiezen voor een periode buiten het stookseizoen om zo min mogelijk verstoring van verwarming te krijgen. In een flink deel van het panel gebeurt dat immers (ook) elektrisch. Een periode vroeg in het niet-stookseizoen heeft de voorkeur om verstoring door airconditioning (opwarming is vaak groter in de maanden augustus/september) en de verstoring door teruglevering van pv-panelen enigszins te beperken. Verder is gekozen voor een periode net na de groei van het panel in 2024 (zie figuur 4-1) om zoveel mogelijk cases te hebben. Tot slot is in de keuze meegenomen dat het weken betreft die buiten de (school)vakanties vallen. Daarmee komen we uit op de weken 20 en 21 in mei 2024.^{30,31} Het is alsnog mogelijk dat een huishouden in de gekozen weken op vakantie was. Dat zal dan – als het goed is – blijken uit een relatief vlak patroon van elektriciteitsverbruik.

4.1.3 Selectie panelleden

De patronen worden verkend voor verschillende typen huishoudens, waarbij van elke type huishouden willekeurig vijf vertegenwoordigers worden gekozen die niet langer dan een jaar geleden (dus juni 2023) voor het eerst een vragenlijst hebben ingevuld. Aanvullend criterium is dat het huishouden geen elektrische auto thuis oplaadt. Dit gebeurt namelijk ook vaak in de avond/nacht (zie hoofdstuk 5, paragraaf 5.2) en kan de vaatwasser ‘maskeren’. Omdat niet is gevraagd naar het bezit van een vaatwasser, kan hierop niet worden geselecteerd. Gezien de samenstelling van het panel (huizenbezitters met een naar verwachting bovenmodaal inkomen) verwachten we op voorhand dat de meeste huishoudens een vaatwasser bezitten en gebruiken en dat verschillen vooral zichtbaar worden in de gebruiksfrequentie, momenten van de dag en in de profielen van verschillende typen vaatwassers.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende typen huishoudens:

- Eenpersoons 30-66 jaar ($N^{32}=11$);
- Eenpersoons 67-plus ($N=9$);
- meerpersoons zonder kinderen 30-66 jaar ($N=20$);
- meerpersoons zonder kinderen 67-plus jaar ($N=46$);
- meerpersoons met kinderen 30-66 jaar ($N=20$);

Van vijf huishoudens per groep worden de verbruikspatronen gedurende twee weken in mei in beeld gebracht, waarna deze visueel worden geïnspecteerd op indicaties voor het gebruik van een vaatwasser. De vijf huishoudens per groep worden aselect gekozen, waarbij – omdat pv-panelen het energiegebruik deels maskeren – huishoudens zonder pv-panelen eerst worden gekozen. Hiermee willen we de volgende vragen beantwoorden:

1. Is in de uurpatronen het gebruik van een vaatwasser te herkennen?

³⁰ Er is eerder gekeken naar weken 24 en 25. In die weken was er echter veel teruglevering. En relatief vaak liep de teruglevering door tot 23:00 (in deze periode valt de langste dag). Daarmee wordt relatief vroeg gebruik van een vaatwasser nagenoeg onzichtbaar voor huishoudens met pv-panelen (de meerderheid in het panel).

³¹ Hierbij geldt dat de registraties voor een flink aantal panelleden pas starten op 14 mei (dinsdag). We brengen daarom deze weken in beeld van dinsdag 14 mei t/m maandag 27 mei (week 22).

³² De N heeft steeds betrekking op het aantal panelleden dat aan de selectiecriteria voldoet: behoort tot het betreffende type huishouden, deelt energiedata en heeft volledige set uurdata beschikbaar in de geselecteerde periode, heeft de vragenlijst niet langer dan een jaar gelden ingevuld (juni 2023 t/m mei 2024) en heeft geen elektrische auto.

2. Op welk(e) tijdstip(pen) wordt de vaatwasser gebruikt?
3. Komt het patroon overeen met het veronderstelde patroon (aantal en hoogte van de pieken) en het tijdstip?
4. Hoe vaak wordt de vaatwasser gemiddeld in een week gebruikt?
5. Zijn er in het gebruik verschillen tussen typen huishoudens?
6. Zijn er in het gebruik overeenkomsten tussen dezelfde typen huishoudens?

4.2 Verkenning patronen (terug)levering elektriciteit

De patronen worden getoond in figuren waarin de dagen en uren op de x-as en levering (positieve waarden) en teruglevering (negatieve waarden) op de y-as worden weergegeven. De y-as is daarbij voor de inzichtelijkheid en vergelijkbaarheid tussen huishoudens constant gehouden en gelimiteerd op -2 en +2 kWh. Echt grote pieken in levering en teruglevering zijn voor de detectie van vaatwassers namelijk niet interessant.

4.2.1 Eenpersoons 30-66 jaar

Er zijn grote verschillen in de patronen van de vijf geselecteerde eenpersoonshuishoudens tussen de 30 en 66 jaar, zoals in navolgende figuren kan worden gezien. De veronderstelde verbruiken van de vaatwasser in de avond en nacht zijn hierin beperkt herkenbaar. De punten die daarvoor in eerste instantie in aanmerking komen – op basis van de geformuleerde basisgegevens en uitgangspunten – zijn gemarkeerd (donkere pijlen). Potentiële momenten overdag/'s avonds (op basis van vergelijkbaar patroon) zijn gemarkeerd met een licht gekleurde pijl. Die kunnen echter ook het gebruik van andere apparaten, zoals een wasdroger markeren. Huishoudens 377 en 3328 hebben bijvoorbeeld ook een wasdroger. Huishouden 2681 geeft aan geen wasdroger te bezitten. Het is denkbaar dat dit huishouden alleen een vaatwasser heeft, die sporadisch wordt gebruikt.

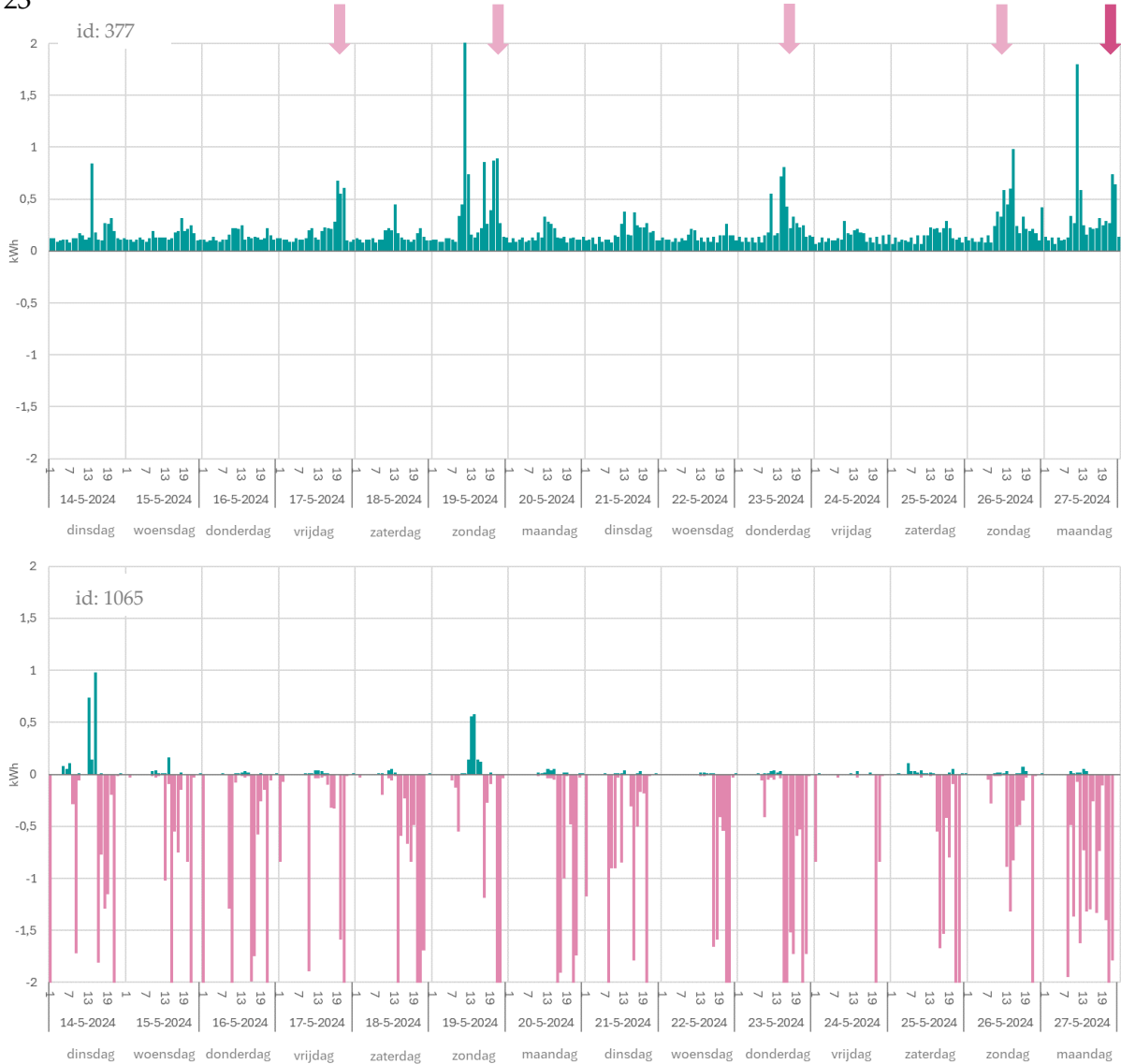
Als een huishouden zonnepanelen heeft, wordt goed duidelijk wat de maskerende invloed hiervan is als alleen – zoals bij deze meetgegevens - de levering en teruglevering bekend zijn (zie hoofdstuk 5 voor een beeld van de meerwaarde van inzicht in direct gebruik van de eigen opwek van de opbrengsten van de pv-panelen). Gebruik van de vaatwasser (of andere apparaten) overdag is met alleen teruglevering en levering niet te achterhalen. Id 3328 geeft een goed beeld van het veranderende patroon als gevolg van de plaatsing van pv-panelen. De hoge baseline gedurende het etmaal verandert in relatief veel gebruik gedurende de nacht. De patronen voordat de pv-panelen zijn geplaatst, tonen echter dat het gebruik overdag in werkelijkheid hoger is en dat juist daar de pieken liggen. Een mogelijke verklaring voor de hoge baseline kan het gebruik van een airconditioner zijn – het huishouden geeft aan daarover te beschikken - die ook voor (bij)verwarming wordt gebruikt. Dat is vanzelfsprekend wel afhankelijk van hoe deze wordt gebruikt.

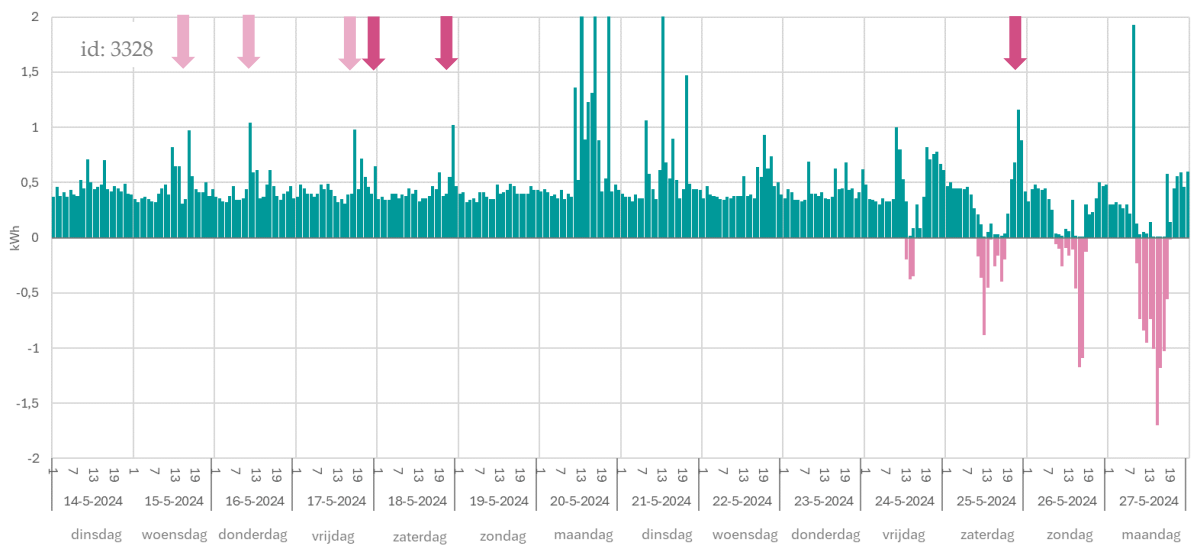
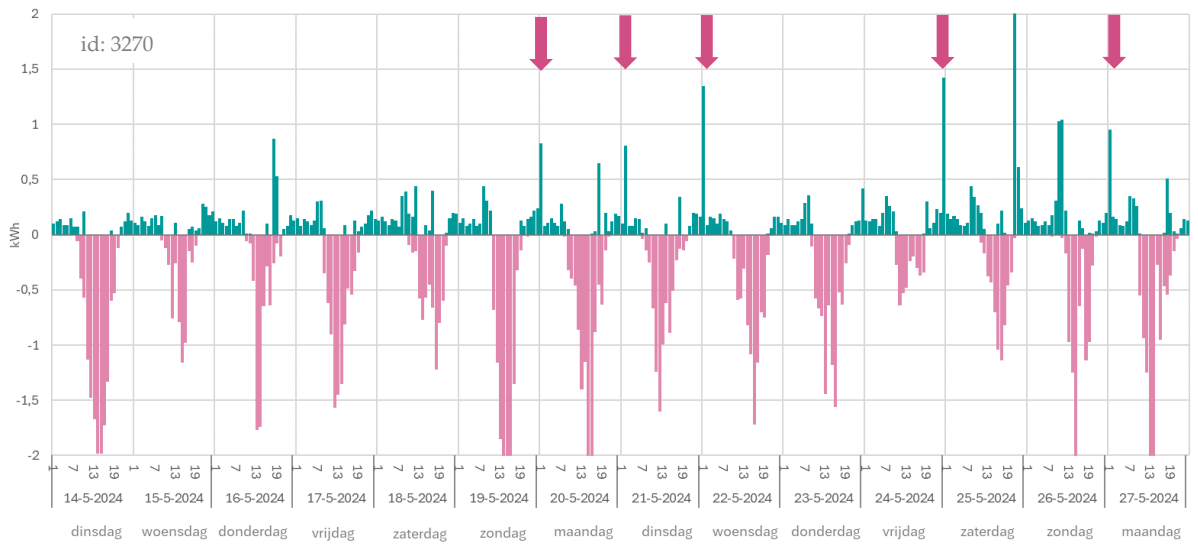
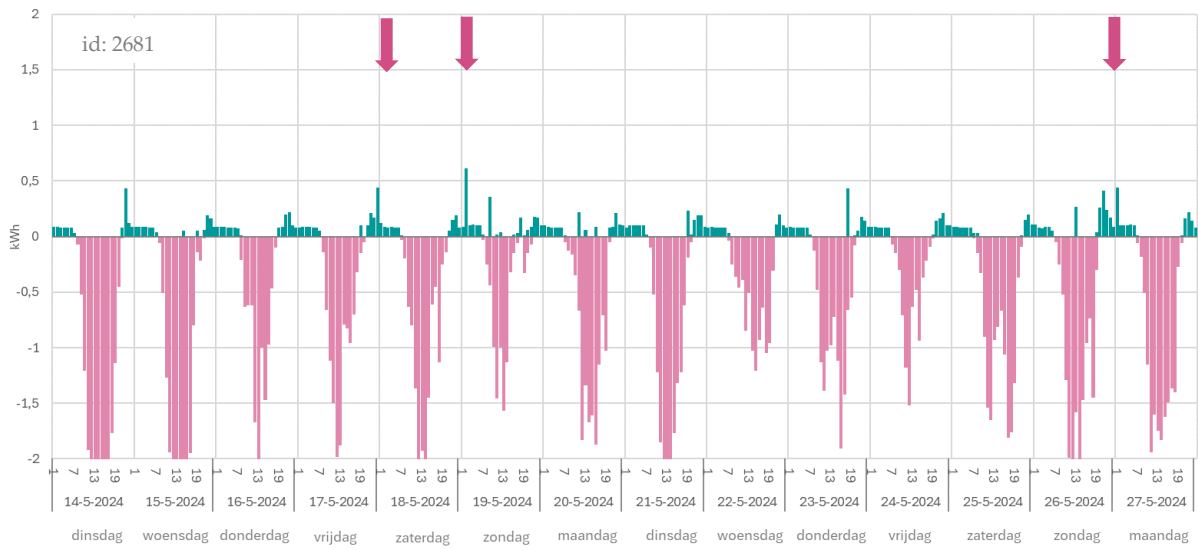
Speciale aandacht verdient id 1065. Hier wordt de werking van een batterij in combinatie met een dynamisch energiecontract zichtbaar. In dergelijke gevallen is uit de meetgegevens geen enkel gebruik meer goed te achterhalen omdat de (terug)levering dan meer door de variërende elektriciteitsprijs gedurende een etmaal wordt bepaald dan door het energiegebruik van het huishouden.

In algemene zin zijn er binnen deze groep eenpersoonshuishoudens geen duidelijke aanwijzingen voor dagelijks gebruik van de vaatwasser op dezelfde tijden. De potentiële frequentie van gebruik van de vaatwasser lijkt in deze groep tussen de 3 en 5 keer in de twee weken te liggen. Het verwachte patroon van twee opeenvolgende pieken in het verbruik wordt alleen bij id 377 gevonden. Bij andere

huishoudens waarvoor het moment van de piek (rond 24:00) aannemelijk is voor gebruik van een vaatwasser is er vaak sprake van één piek (id 3328 en 3270 en 2681).

23

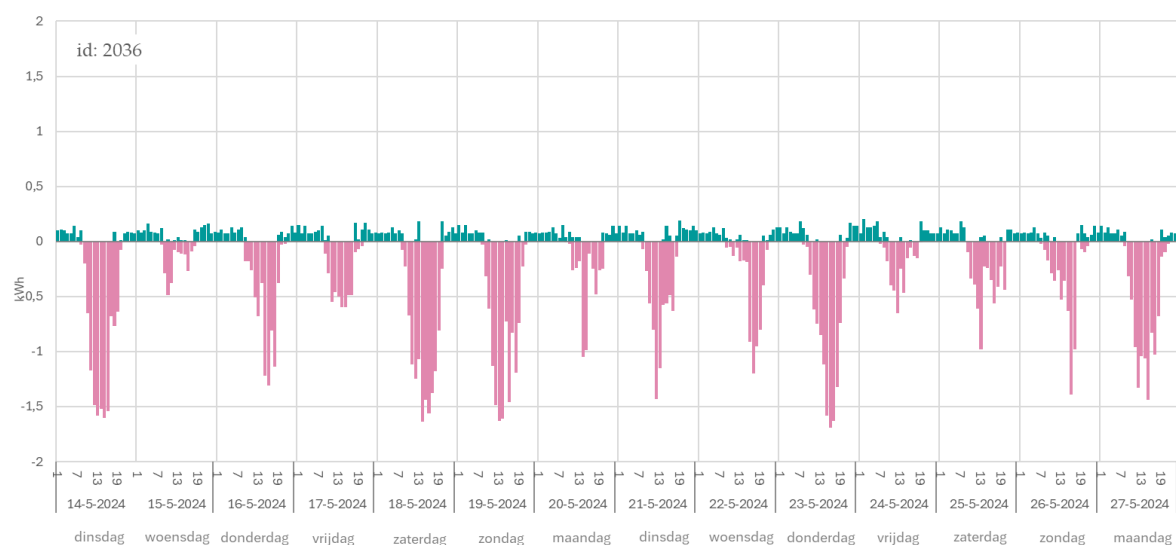
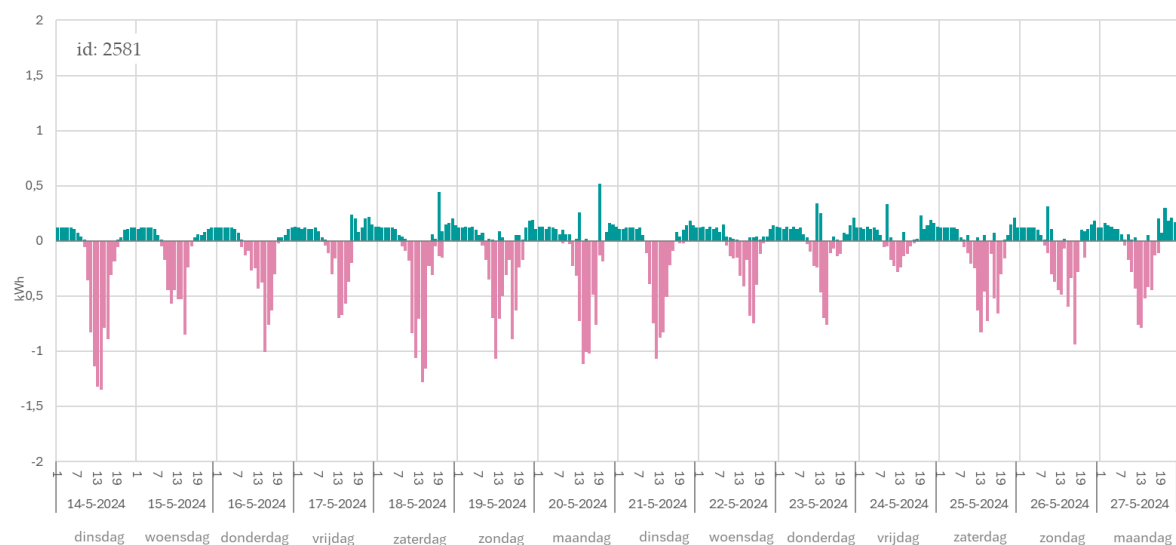




4.2.2 Eenpersoons 67-plus

De (terug)leveringspatronen bij de eenpersoonshuishoudens ouder dan 66 jaar zijn onderling sterk verschillend. Bij drie van de vijf huishoudens zijn er geen plausibele indicaties van het gebruik van een vaatwasser in de late avond/nacht. Id's 1484 en 2581 hebben wel pieken van de verwachte grootte, maar die vallen eerder op de avond of in de ochtend en zijn daarmee niet te onderscheiden van ander apparaatgebruik. Beide huishoudens geven aan elektrisch te koken en geen wasdroger te hebben. Daarmee ligt het in de rede dat de ochtend- en avondpieken vooral te maken hebben met koken. Het is – omdat deze huishoudens ook geen wasdroger bezitten - niet onaannemelijk dat zij ook geen vaatwasser hebben of gebruiken.



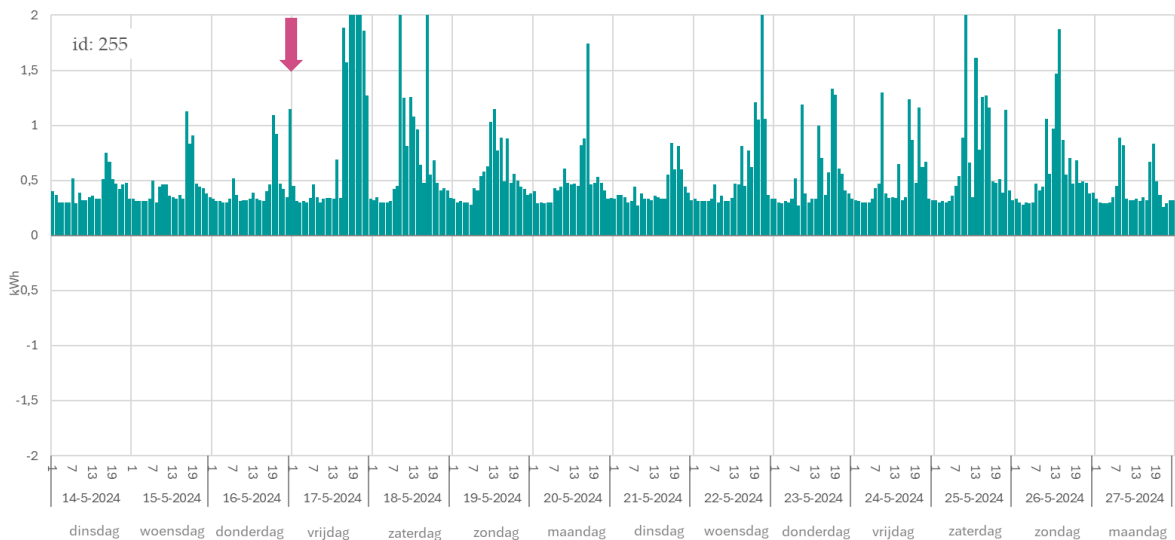


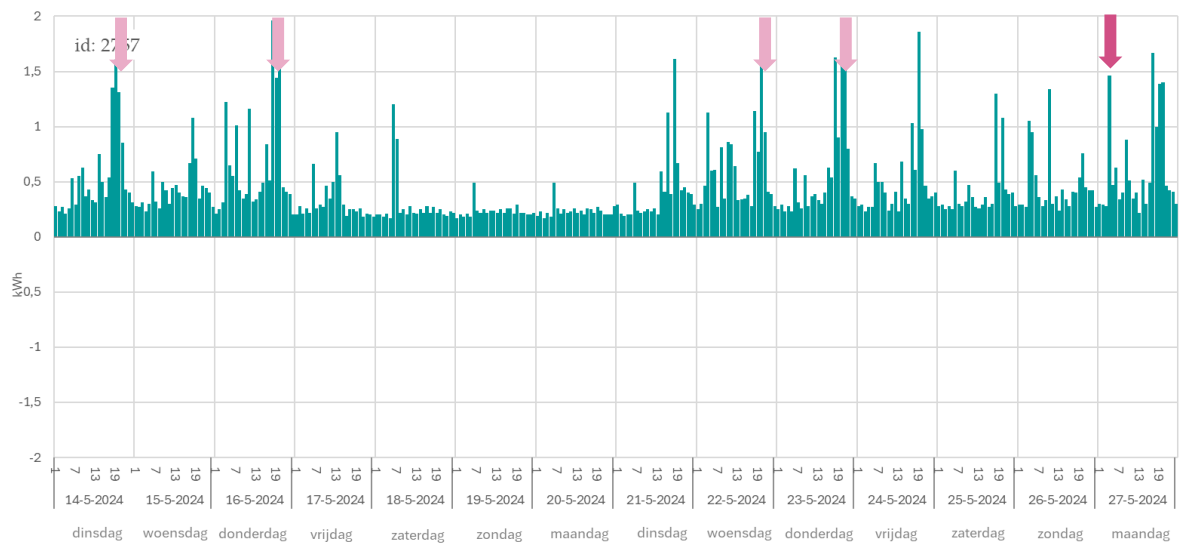
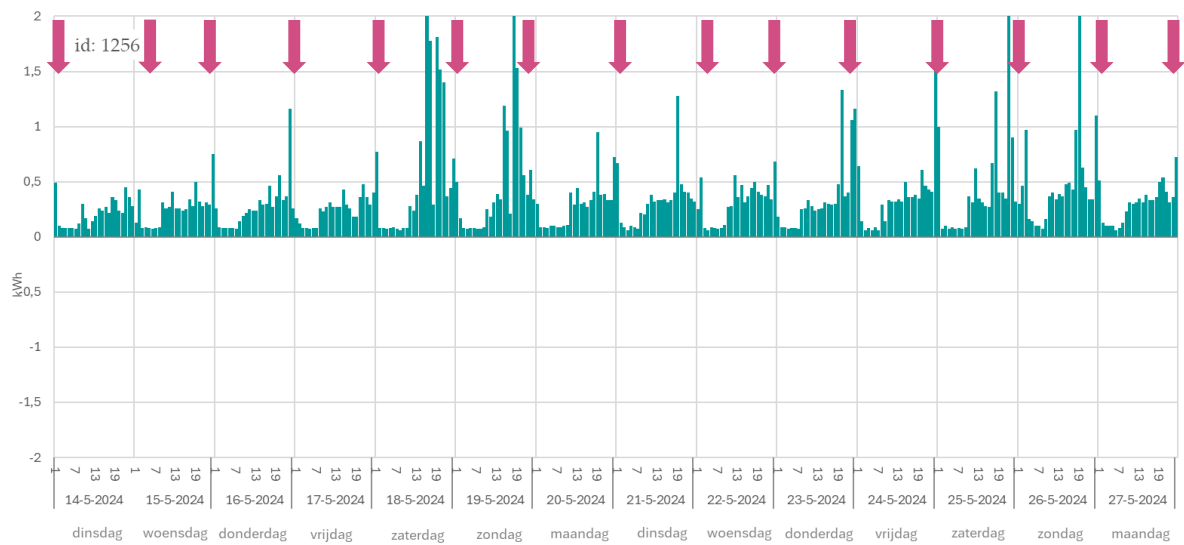
Bij een van de oudere eenpersoonshuishoudens (id: 2036) doet het patroon vermoeden dat deze persoon op vakantie was in deze weken. Echter, deze persoon geeft ook aan geen van de uitgevraagde apparaten (waaronder wasdroger, kookplaat e.d.) te bezitten. Daarmee is het niet onwaarschijnlijk dat dit huishouden ook geen vaatwasser bezit of gebruikt en dat het patroon alleen continuverbruik van koelkast en eventuele standby-apparatuur laat zien zonder dat de persoon op vakantie is.

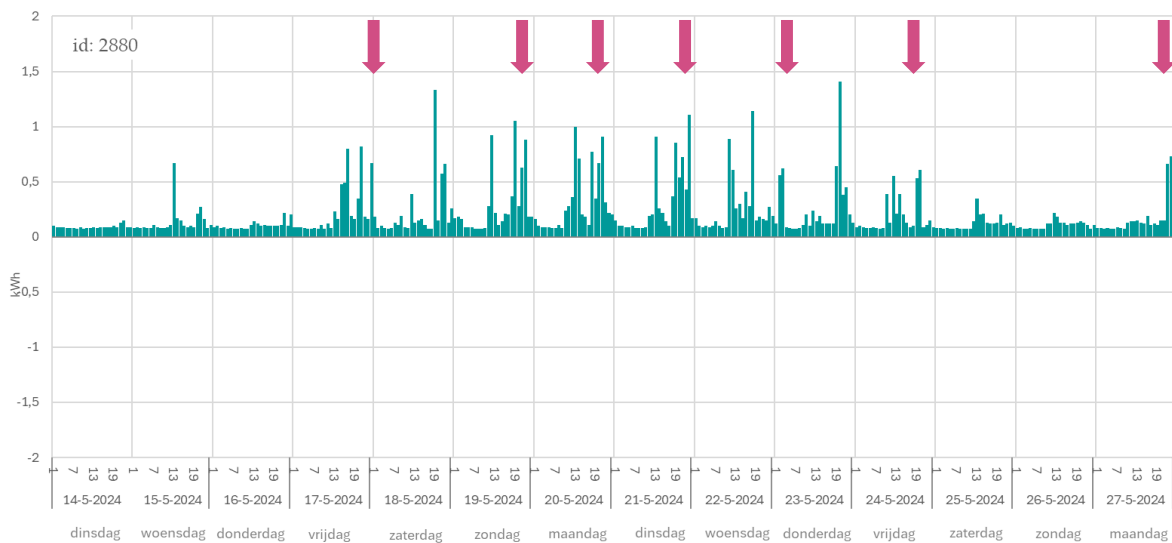
Bij huishoudens 3717 en 2398 zijn er wel aanwijzingen voor het gebruik van een vaatwasser. In het eerste geval gaat om een gebruik van drie keer in twee weken. In het tweede geval om zes keer in twee weken. Er zijn bij id:2398 (en bij andere huishoudens) overdag ook vrij nadrukkelijke pieken in het stroomverbruik zichtbaar. Die kunnen echter ook met allerlei ander apparaatgebruik te maken hebben (wassen/drogen/klussen/koken/hobby's) en worden om die reden nu niet geïndiceerd als potentieel vaatwassergebruik. Op zichzelf kunnen die pieken vanzelfsprekend wel (ook) betrekking hebben op vaatwassergebruik

4.2.3 Meerpersoons zonder kinderen 30-66 jaar

Net als bij de andere huishoudenstypen is het beeld ook bij de meerpersoonshuishoudens zonder (minderjarige) kinderen divers. Voor een aantal huishoudens (1256, 2202 en 2880) zijn er vrij sterke aanwijzingen dat de vaatwasser dagelijks wordt gebruikt bij aanwezigheid. Bij 2880 geldt de bijzondere omstandigheid dat de echtgenote om de week inwoont. Dat lijkt op grond van de verbruikspatronen van vrijdag tot vrijdag te zijn. In die periode lijkt de frequentie van gebruik van de vaatwasser duidelijk hoger dan daarbuiten.





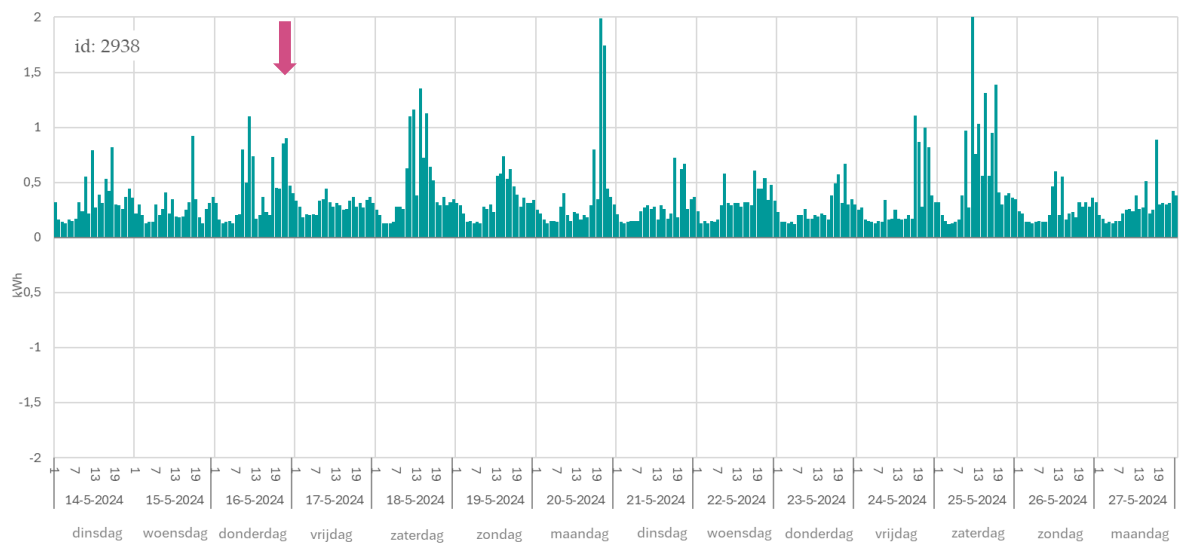
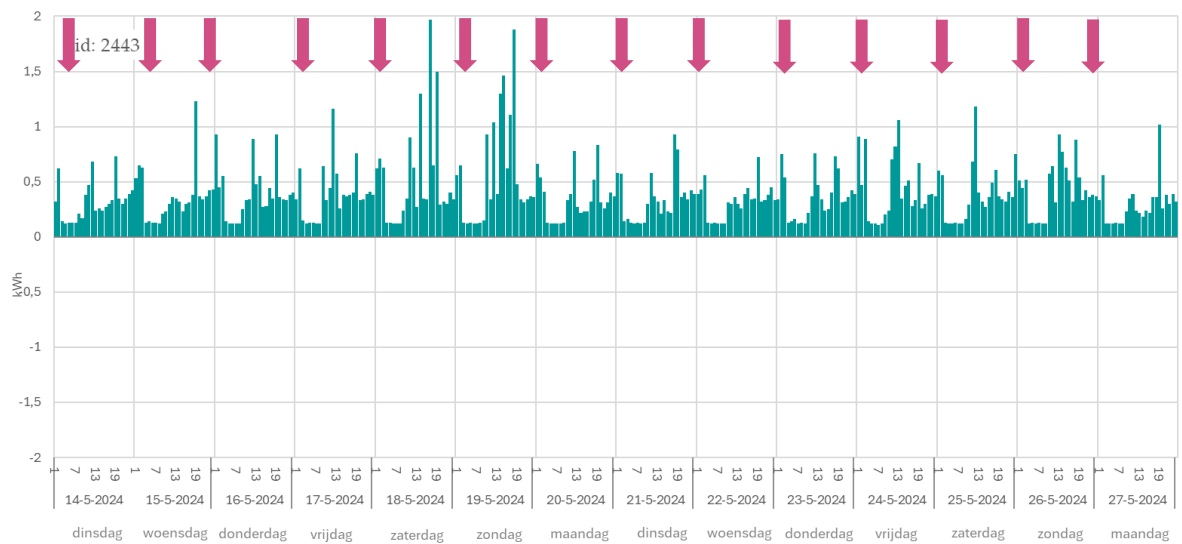
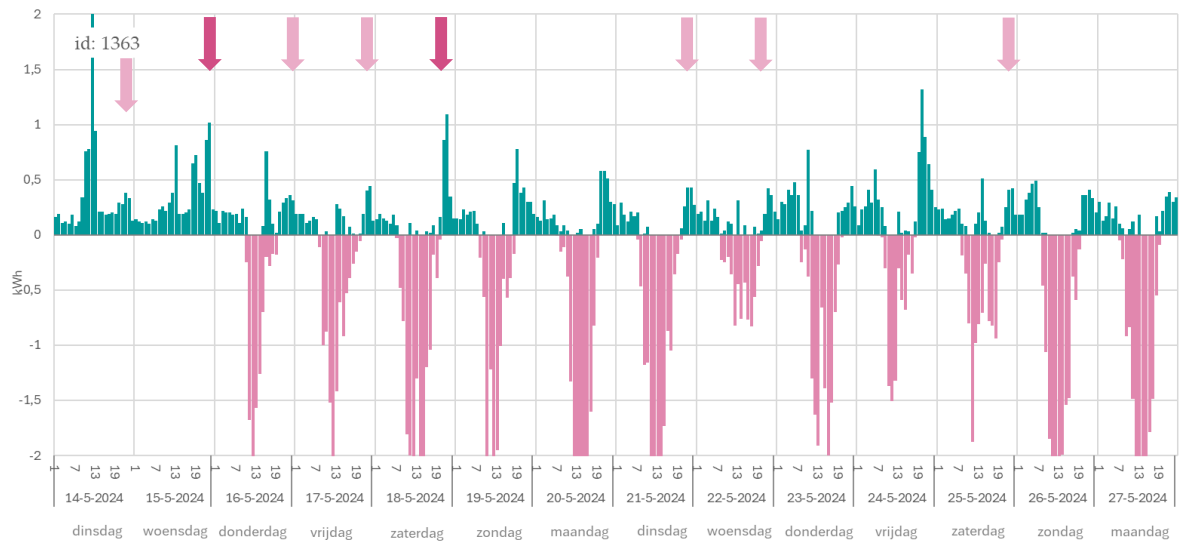


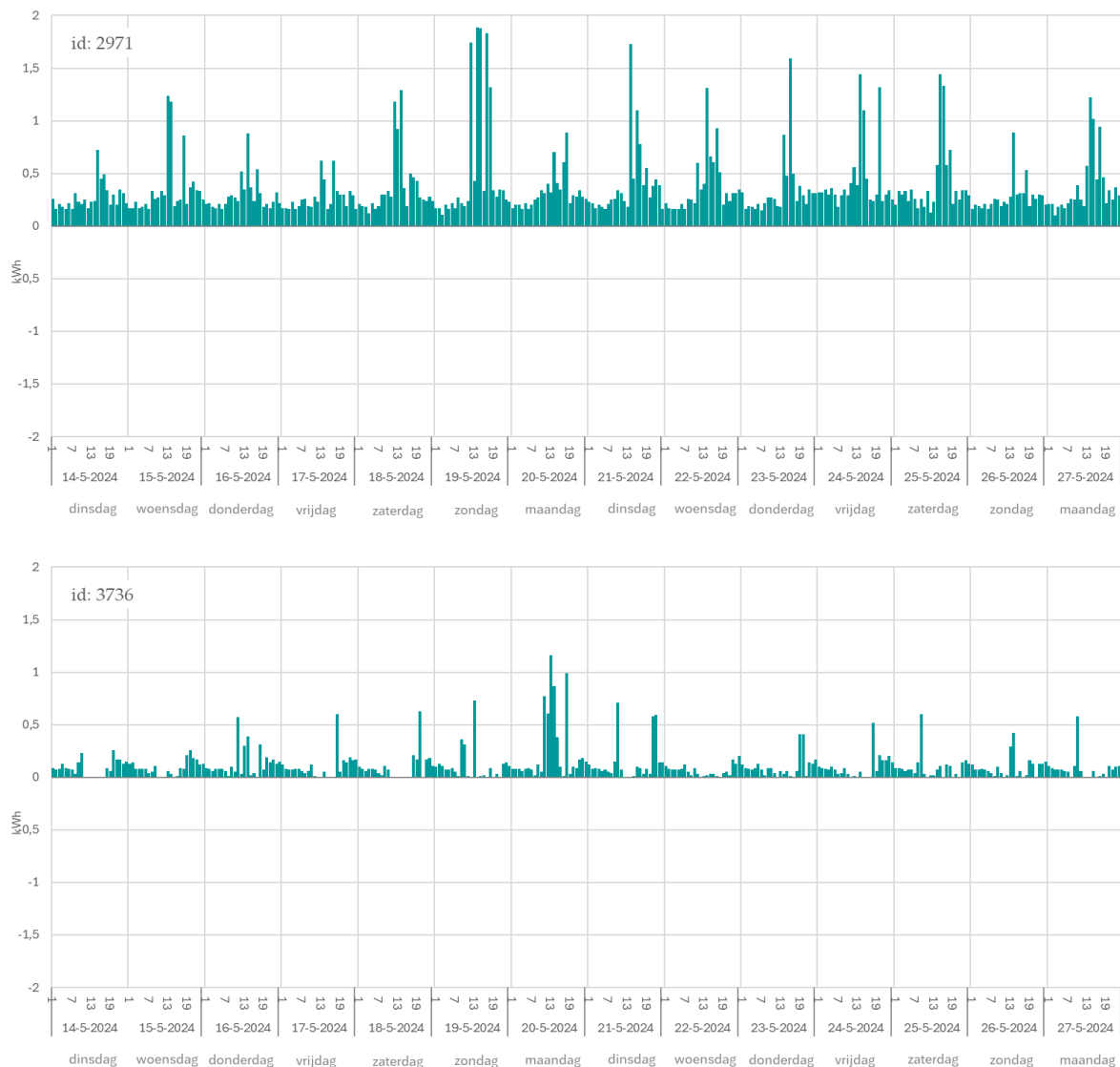
Voor de andere twee huishoudens (255 en 2757) is het gebruik van de vaatwasser niet duidelijk af te leiden uit het gebruikspatroon. Bij beide is er slechts één moment dat gegeven de uitgangspunten in aanmerking komt. Het is vanzelfsprekend mogelijk dat deze huishoudens de vaatwasser – indien men aanwezig is - overdag of in de vroegere avond gebruiken. Voor 255 is dat lastig te bepalen omdat dit huishouden ook elektrisch kookt. Het is aannemelijk dat de avondpieken in ieder geval ook daardoor – naast het gebruikelijke hogere verbruik in de avond - worden bepaald.

Huishouden 2757 kookt niet elektrisch. De pieken van dit huishouden in de vroegere avond zouden dan ook mogelijk deels aan de vaatwasser kunnen worden toegeschreven. Anderzijds is dit een huishouden met drie personen (1 volwassen kind). Dat maakt het aannemelijk dat het elektriciteitsgebruik in de avond – als men thuis is – over de gehele linie hoger ligt. In het weekend van 19 en 20 mei was er in dit huishouden vermoedelijk niemand thuis.

4.2.4 Meerpersoons zonder kinderen 67-plus

De geselecteerde meerpersoonshuishoudens zonder kinderen van 67 jaar of ouder bestaan alle uit twee personen. Daar zijn de overeenkomsten ook wel mee benoemd. Voor een van de huishoudens (2443) zijn er aanwijzingen dat de vaatwasser dagelijks wordt gebruikt. Voor de andere vier is dat veel minder duidelijk. Bij 1363 zijn er twee momenten waarop er in de latere avond een duidelijke piek is. Die komt echter in de erop volgende dagen niet meer terug. Dat maakt het minder waarschijnlijk dat dit echt de vaatwasser betreft. Wat vaker is er in de avond een wat langer relatief hoog verbruik te zien dat tegen het einde van de avond het hoogst is. Dat zou een (zuinige) vaatwasser kunnen zijn. Tegelijkertijd kookt dit huishouden elektrisch en beschikt het over een airco die ook voor bijverwarming wordt gebruikt. Dat maakt de interpretatie van het patroon lastig.





Huishoudens 2938 en 2971 hebben een vrij normaal niveau van elektriciteitsgebruik voor dit type huishoudens. Ze koken beide elektrisch en bezitten een wasdroger. De grote en langduriger pieken op zaterdag bij 2938 zouden kunnen duiden op het gebruik hiervan in combinatie met een wasmachine. Voor 2971 is een vergelijkbaar patroon zichtbaar op zondag de 19^e en ook bij huishoudens die tot andere typen behoren en geen pv-panelen hebben zijn dergelijke 'clusters' te ontdekken. Deze vallen vaak in het weekend.

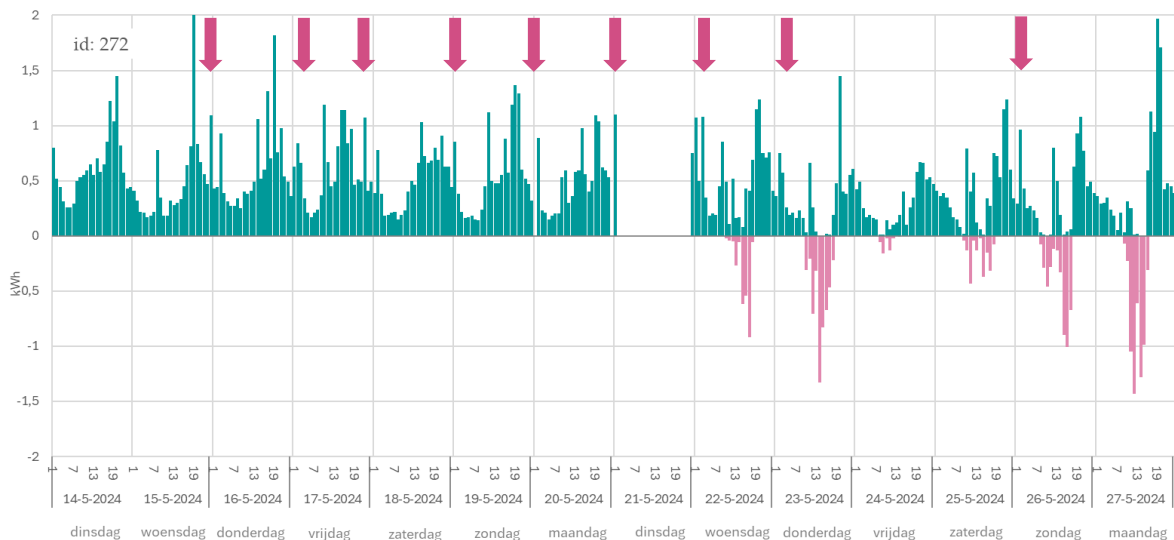
Huishouden 2938 heeft ook een kokendwaterkraan en een elektrische boiler. Er zijn geen aanwijzingen dat dit huishouden in de late avond of 's nachts structureel een vaatwasser gebruikt. Er is slechts één moment dat hiervoor in aanmerking komt. Dat maakt het echter minder waarschijnlijk dat het een vaatwasser betreft. Huishouden 2971 heeft een airconditioner die (ook) voor bijverwarming wordt gebruikt. Als dit huishouden een vaatwasser gebruikt, dan is dat overdag. Door de aanwezigheid van de andere apparaten, is dat echter niet goed te detecteren.

Huishouden 3736 geeft aan geen apparaten te bezitten, ook geen wasdroger. Het huishouden kookt op gas en ventileert natuurlijk. Dat past bij het lage niveau van elektriciteitsgebruik van dit huishouden.

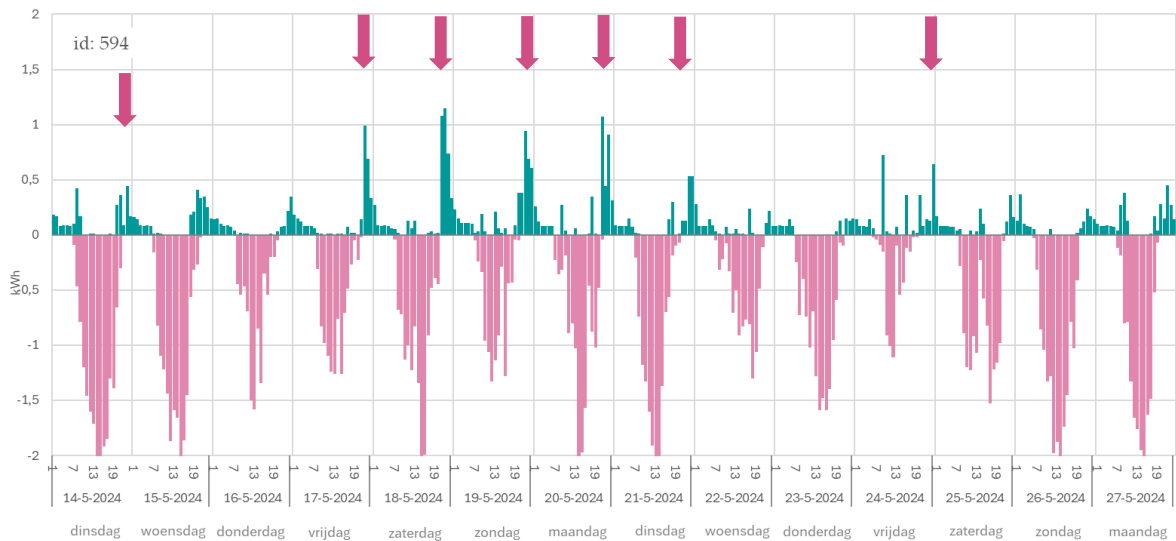
Mogelijk zien we nog wel een gebruik van een wasmachine op maandag. De baseline wordt bij dit huishouden vermoedelijk alleen door een koelkast en eventueel standby-apparatuur bepaald. Er kan geen systematisch gebruik van een vaatwasser worden ontdekt in het patroon. Het is aannemelijk dat dit huishouden daar ook niet over beschikt.

4.2.5 Meerpersoons met kinderen

Bij de meerpersoonshuishoudens met kinderen zijn er panelleden waarbij het gebruik van een vaatwasser waarschijnlijk is, gezien het tijdstip waarop pieken in het verbruik worden waargenomen. Dat is het geval bij 272 en 594. Huishouden 272 is een gezin met twee minderjarige en een meerderjarig kind, het kookt elektrisch, heeft een kokendwaterkraan, een wasdroger en een hybride warmtepomp. Het elektriciteitsverbruik is dan ook behoorlijk hoog gedurende de dag, met ook duidelijke pieken gedurende de middaguren. Deze kunnen worden veroorzaakt door allerlei activiteiten, zoals wassen, drogen, vaatwasser enzovoort. De pieken in de late avond en het begin van de nacht zouden kunnen worden veroorzaakt door een vaatwasser. Dit huishouden heeft een 'gat' in de waarnemingen op 21 mei. Dit hangt vermoedelijk samen met de installatie van zonnepanelen.



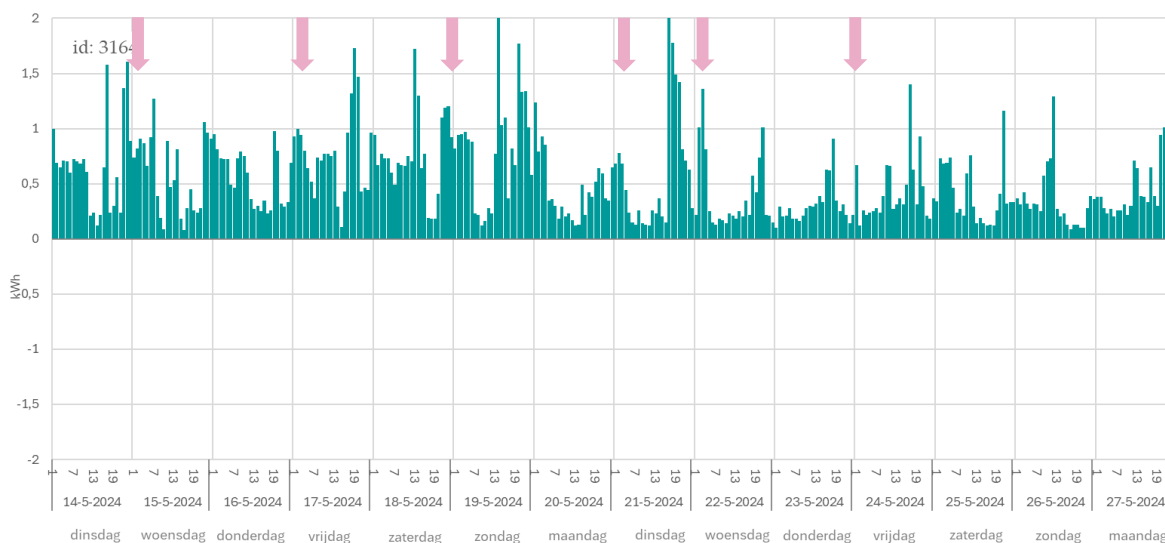
Huishouden 594 (gezin met twee kinderen) kookt niet elektrisch en geeft aan verder ook geen apparaten te bezitten. Omdat er niet elektrisch wordt gekookt is het mogelijk om een deel van de avondpieken toe te schrijven aan het gebruik van een vaatwasser. Het gebruik is echter niet bijzonder regelmatig. Er is een vrij groot contrast tussen dagen met veel en weinig verbruikspieken. Er kan niet worden vastgesteld waar dat mee te maken heeft. Het is daarmee ook mogelijk dat het huishouden (ook) geen vaatwasser bezit en dat de avondpieken met andere activiteiten te maken hebben.



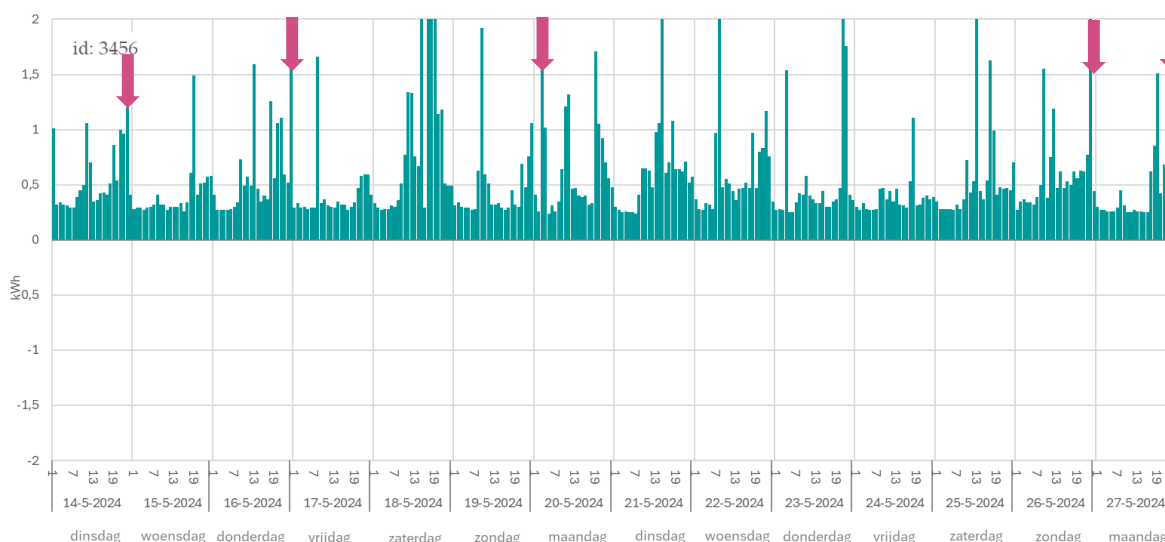
Bij huishoudens 1678 is het onzeker of waargenomen pieken in de nacht te maken hebben met de vaatwasser. Dit zou kunnen, maar het is zeker dat deze pieken niet alleen aan een vaatwasser kunnen worden toegeschreven. Daarvoor zijn er te veel pieken die ook op regelmatige afstand van elkaar liggen. Het lijkt plausibel dat dit patroon wordt veroorzaakt door de hottub die het huishouden aangeeft te bezitten. Het is denkbaar dat een vaatwasser daar nog bovenop komt omdat de pieken in het begin van de nacht vaak hoger zijn dan wat meer richting de ochtend, maar zeker is dit niet.



Huishouden 3164 is een huishouden met twee partners, twee minderjarige kinderen en een inwonende zwager. Het geeft aan geen van de uitgevraagde apparaten te bezitten. Er is wel een aantal momenten dat in aanmerking komt voor de detectie van een vaatwasser, maar dit is zeer onzeker doordat het patroon niet consistent is over de gehele periode. Verder ligt het verbruik in de eerste helft van de periode – ook gedurende de nacht – aanmerkelijk hoger dan in de tweede helft. Dit doet vermoeden dat de aanwezigheid van de leden van het huishouden niet gelijk is geweest in beide weken. Dit bemoeilijkt de duiding van het patroon. Door het gebrek aan consistentie is het waarschijnlijk dat dit huishouden geen vaatwasser heeft.



Huishouden 3456 is een huishouden met 2 kinderen, waarvan een onder de 5. Er wordt elektrisch gekookt, men heeft een kokendwaterkraan, een warmtepomp, mechanische ventilatie, een wasdroger en elektrische bijverwarming, maar geen zonnepanelen. De baseline van het elektriciteitsgebruik ligt relatief hoog. Gezien het apparatenbezit is het aannemelijk dat dit huishouden ook over een vaatwasser beschikt. Er zijn ook enkele nachtelijke pieken die dit bevestigen. Het aantal pieken is echter beperkt. Het is denkbaar dat op andere dagen de vaatwasser overdag wordt gebruikt. Dit kan dan echter niet worden onderscheiden van het gebruik van elektrisch koken, wasmachine of wasdroger.



4.3 Conclusies

Beantwoording van de vragen

In de uurpatronen is - met aannames over het moment van gebruik en de hoogte van de pieken - het gebruik van een vaatwasser te herkennen. Dat beperkt zich wel tot het veronderstelde gebruik van de vaatwasser in de late avond/begin van de nacht. Gebruik van een vaatwasser overdag kan zonder nadere detaillering van de patronen en inzicht in het feitelijke bezit en gebruik van de vaatwasser (en

andere apparaten) niet worden onderscheiden van het gebruik van andere apparaten. Als een huishouden zonnepanelen heeft zonder dat ook de opwek bekend is (en daarmee het directe gebruik van de eigen opwek), kan het gebruik van apparaten overdag niet worden gedetecteerd.

De vraag op welke tijdstippen de vaatwasser wordt gebruikt kan niet worden beantwoord. Op basis van de uurpatronen is het waarschijnlijk dat de vaatwasser in ieder geval ook in late avond/begin van de nacht wordt gebruikt bij een deel van de huishoudens. Gebruik overdag kan om de hiervoor genoemde redenen niet worden bepaald.

Het veronderstelde patroon van energieverbruik van de vaatwasser (twee pieken in twee opeenvolgende uren of met een uur ertussen) komt vaker niet dan wel overeen met de patronen die worden aangetroffen. Zeker zo vaak is er slechts één piek in één uur te zien. Het zou kunnen dat in die gevallen niet van het eco-programma gebruik wordt gemaakt of dat er op andere manieren dan via condensdroging wordt gedroogd.

De variatie in het (waarschijnlijke) gebruik van de vaatwasser is groot. Dit varieert van elke dag in de week tot nooit. De verschillen tussen typen huishoudens komen wel overeen met wat daarover kan worden verwacht. Eenpersoonshuishoudens en oudere huishoudens gebruiken de vaatwasser minder vaak dan jongere meerpersoonshuishoudens. De verschillen tussen huishoudens die tot eenzelfde type behoren zijn echter groot.

Overige bevindingen

In de uurpatronen zijn – naast die van de vaatwasser – ook enkele patronen gevonden die gebruik van andere apparaten indiceren:

- Wassen en drogen (cluster van relatief hoge en toenemende pieken over een langere periode; relatief vaak overdag en in het weekend te zien).
- Hottub (id: 1678 in paragraaf 4.2.5): relatief hoge piekverbruiken met een regelmatig interval gedurende het gehele etmaal.
- Slimme batterij (id: 1065 in paragraaf 4.2.1): terugleveringen op tijdstippen waarop normaal geen of veel minder stroom wordt opgewekt.
- Koken: pieken gebonden aan specifieke momenten.

Geautomatiseerde patroonherkenning

Om geautomatiseerde patroonherkenning gericht op apparaatgebruik mogelijk te maken, is aanvullende informatie wenselijk:

- Meting van elektriciteitsgebruik met een hogere frequentie dan het uurniveau. Dit is nodig om de specifieke verbruikskarakteristieken van apparaten te onderscheiden die zich bij uurdata middelen binnen een uur of verdelen over meerdere uren.
- Inzicht in de ‘real time’ opwek/het eigen gebruik van de opwek van pv-panelen. Dit is nodig om ook overdag apparaatgebruik te detecteren en de werking van slimme batterijen te neutraliseren in de data.
- Inzicht in het feitelijke bezit en gebruik (incl. de tijdstippen op een dag) van apparaten, inclusief de kwaliteit (energielabel) van die apparaten. Dat zou bijvoorbeeld bij een aantal huishoudens kunnen worden gedaan met behulp van dagboekjes of (digitaal) huisbezoek. Die informatie is wenselijk om patroondetectie te ‘trainen’. Zonder die informatie blijft het te veel ‘zoeken op de tast’ omdat het criterium voor de training ontbreekt. Algoritmes om kattenplaatjes te herkennen zijn immer ook ooit getraind door deze een groot aantal kattenplaatjes te tonen en niet door een groot aantal plaatjes van allerlei dieren te tonen, waaruit dan ‘als vanzelf’ de kattenplaatjes worden herkend.

5 Benutting opwek zonnepanelen

Een van de complicaties bij de analyse van slimme-meterdata is dat in de levering en teruglevering van elektriciteit het eigen gebruik van zelf opgewekte elektriciteit al is verwerkt. De geregistreerde teruglevering is namelijk de opwek met PV-panelen minus het directe eigen gebruik. Omgekeerd is de levering van elektriciteit het saldo van het totale gebruik van elektriciteit en het gebruik van zelf opgewekte elektriciteit. Omdat de opwek zelf niet bekend is in de slimme-meterdata, kan dus niet worden bepaald hoeveel van de zelf opgewekte elektriciteit voor eigen gebruik is. Het gevolg is dat bij huishoudens met zonnepanelen er vanuit de slimme-meterdata een onderschatting is van het elektriciteitsgebruik tijdens de perioden waarin elektriciteit wordt opgewekt.

Om in deze kennislacune te voorzien, zijn in het longitudinale onderzoek dat door Republiq wordt uitgevoerd in opdracht van RVO de eerste stappen gezet om de eigen opwek van pv-panelen te registreren. Momenteel wordt dit bij 20 huishoudens in het panel gedaan. De gegevens over de opwek zijn voor deze deelnemers aan het panel beschikbaar op kwartierbasis in de periode mei t/m september 2024. Voor 5 deelnemers zijn de gegevens niet valide/onvolledig. Zij leveren op basis van de beschikbare data namelijk meer terug dan ze opwekken. Vermoedelijk hebben deze huishoudens meerdere omvormers terwijl de gegevens van slechts één omvormer zijn doorgegeven.

Voor de 15 resterende huishoudens kan worden nagegaan hoe de opwek in de periode mei t/m september zich verhoudt tot levering en teruglevering in diezelfde periode. Daarmee kan een eerste inschatting van het eigen verbruik van de zelf met PV opgewekte elektriciteit worden gegeven. Op de langere termijn kan dit – als deze dataset wordt uitgebreid (meer panelleden, langere periodes) – worden aangescherpt door dit voor een groter aantal huishoudens over een geheel jaar te doen. Door die uitkomsten te relateren aan de gegevens over aantal en vermogen van de PV-panelen kunnen de uitkomsten dan op termijn worden gegeneraliseerd naar de totale woningvoorraad.

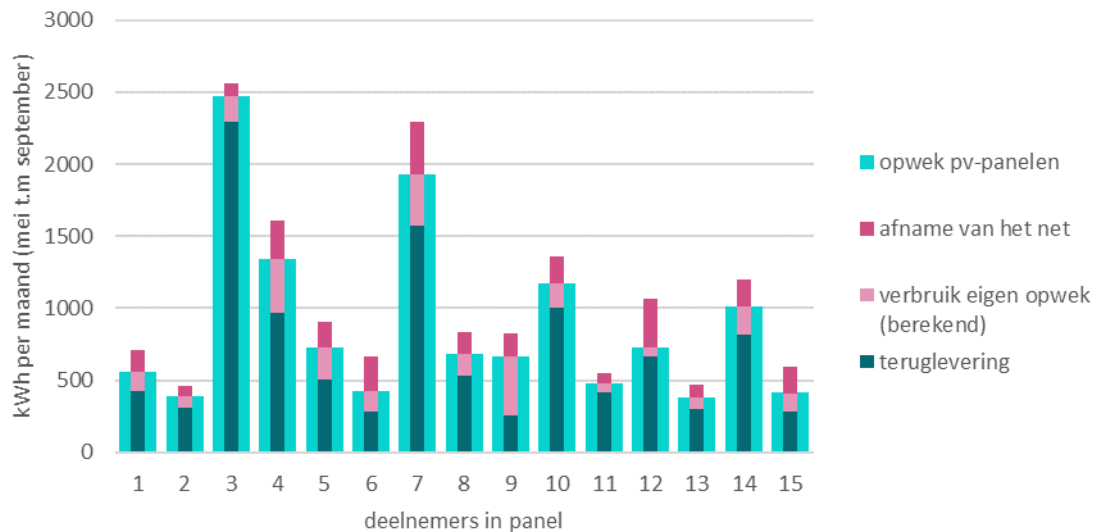
Omdat de dataset zo beperkt is en het onzeker is of dit voor meer deelnemers beschikbaar gaat komen, verkennen we in dit hoofdstuk ook de mogelijkheid om de opwek te schatten op basis van algemene gegevens over de PV-installatie (vermogen) en de geregistreerde zoninstraling.

5.1 Gemeten opwek en eigen verbruik in de zomer

Een eerste indruk van de verhouding tussen opwek, eigen gebruik en teruglevering wordt voor de 15 huishoudens in de dataset weergegeven in figuur 5-1. Eigen opwek, teruglevering en afname van het elektriciteitsnet in deze figuur volgen uit de data. Het verbruik uit eigen opwek wordt berekend als het saldo van de eigen opwek en de teruglevering.

Bij deze 15 deelnemers bestaat een grote variatie in opwek: 5 deelnemers hebben minder dan 500 kWh maandelijkse opwek en vijf hebben meer dan 1.000 kWh per maand. Eén deelnemer produceert in deze zomermaanden bijna 2.500 kWh per maand. Van de eigen opwek leveren de deelnemers in deze maanden het grootste deel terug aan het net. Een kleiner deel van de oplevering wordt voor eigen gebruik aangewend en een eveneens relatief klein deel wordt afgenomen van het net.

figuur 5-1 Gemiddelde maandelijkse opwek pv-panelen, teruglevering, verbruik eigen opwek en afname van het net voor 15 huishoudens in de periode mei – september 2024



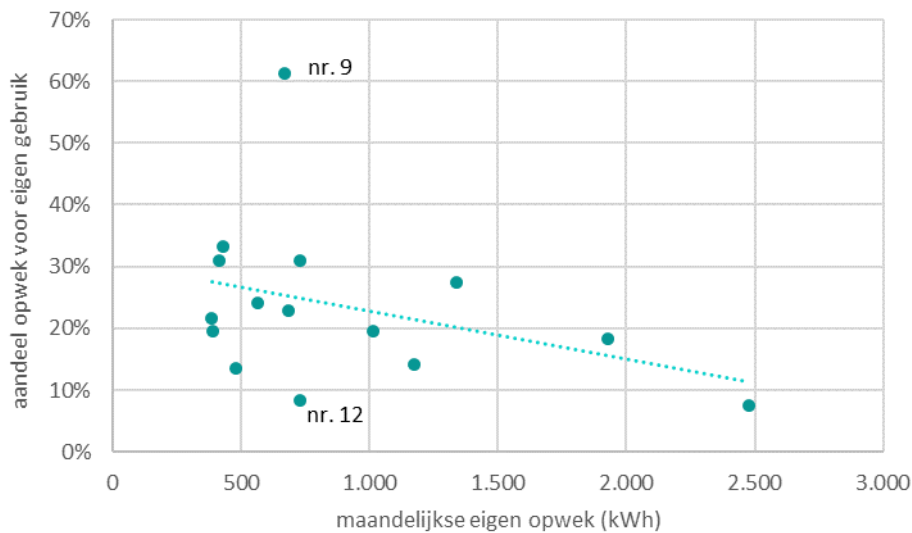
De teruglevering komt in deze maanden uit op tussen 70% en 90% van de opwek. Omgekeerd wordt in deze maanden dus tussen de 10% en 30% van de opwek voor eigen gebruik benut (figuur 5-2). Er is één huishouden (nr. 9) dat ruim 60% van de eigen opwek voor eigen gebruik benut. Het aandeel van tussen de 10% en 30% (gemiddelde is 24% en 21% zonder huishouden nr.9) ligt wat lager dan de 30% die veelal wordt aangehaald.³³ Dat kan te maken hebben met de meetperiode (zomermaanden) waarin relatief veel elektriciteit wordt opgewekt en minder verbruikt.

Het aandeel van de opwek dat voor eigen gebruik wordt benut, neemt af naarmate er meer elektriciteit wordt opgewekt, maar er is betrekkelijk veel spreiding. Zo verbruikt het huishouden dat maandelijks bijna 2.500 kWh opwekt, minder dan 10% voor eigen gebruik. Dat geldt echter ook voor een huishouden (nr. 12) dat iets meer dan 700 kWh uur opwekt. Dit laatste huishouden neemt relatief veel af van het net zoals kan worden gezien in figuur 5-1.

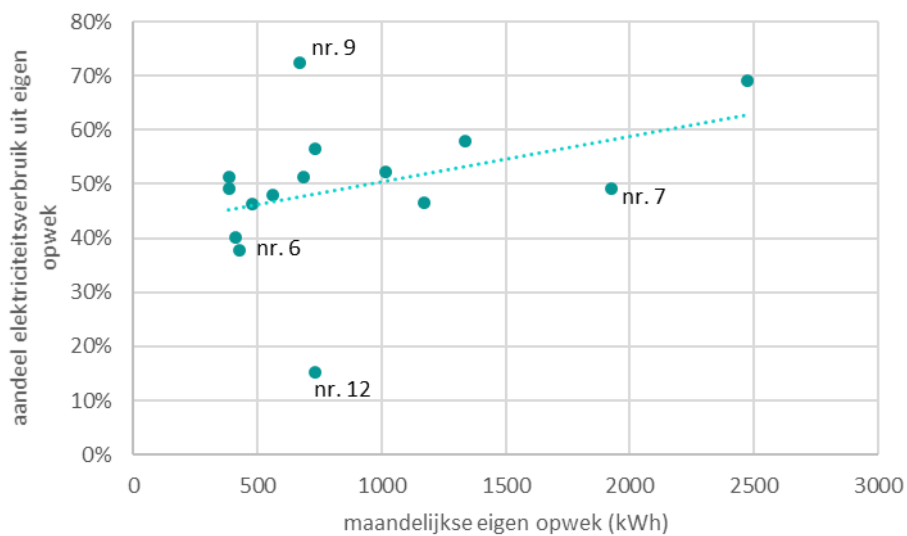
Gemiddeld voorziet de eigen opwek in de maanden mei tot en met september voor de onderzochte groep huishoudens in zo'n 50% van het elektriciteitsverbruik (figuur 5-3). Maar ook hier zijn de verschillen aanzienlijk. Zo haalt van twee huishoudens met een vergelijkbare opwek van rond de 700 kWh per maand, het ene (nr. 12) zo'n 15% van het elektriciteitsverbruik uit de eigen opwek en het andere (nr. 9) meer dan 70%. Dat laatste huishouden is een tweepersoonshuishouden. Er is vrijwel altijd iemand aanwezig in huis, men bezit een aquarium/terrarium en men geeft aan bewust apparaten te gebruiken tijdens zonuren. Dat laatste geldt echter ook voor huishouden nr. 12 dat juist zo weinig elektriciteit uit eigen opwek gebruikt.

³³ Zie bijvoorbeeld de [website](#) van MilieuCentraal

figuur 5-2 Aandeel van de opwek dat voor eigen gebruik wordt benut, naar omvang van de opwek



figuur 5-3 Aandeel elektriciteitsverbruik uit eigen opwek, naar omvang van de opwek



Elektrische auto

Van de 15 huishoudens hebben er drie een elektrische auto. Twee huishoudens (nr. 6 en 7) geven aan deze af en toe thuis op te laden. Eén huishouden (nr.12) geeft aan de elektrische auto meestal via het eigen elektriciteitsnetwerk op te laden. Dit laatste huishouden is ook het huishouden dat het kleinste deel van het elektriciteitsverbruik uit de eigen opwek haalt. Het opladen van de elektrische auto lijkt daarmee voor dit huishouden relatief veel plaats te vinden buiten de momenten dat elektriciteit wordt opgewekt. De twee andere huishoudens met een elektrische auto bevinden zich in de onderste helft (minder dan 50%) van het aandeel elektriciteitsverbruik uit eigen opwek met respectievelijk 38% en 49%. Die 49% is niet uitzonderlijk, maar 38% is relatief laag. Ook dit huishouden (nr. 6) verbruikt dus relatief veel stroom dat niet uit de eigen opwek komt. Of dat met de elektrische auto te maken heeft is echter onzeker, mede omdat het totale elektriciteitsverbruik van dit huishouden niet bijzonder groot is.

Het kleine aandeel benutting van de eigen opwek door het huishouden met een elektrische auto die vooral thuis wordt opgeladen, is opvallend. Dit onderstreept dat het potentieel van de elektrische auto als buffer/accu voor zonnestroom sterk zal afhangen van het gebruik (de momenten waarop die elektrische auto wordt opgeladen). Het is niet vanzelfsprekend dat dit vooral gebeurt op de momenten dat de zon schijnt.

5.2 (Mis)match opwek en verbruik

Om een beter beeld te krijgen van de verhouding tussen opwek en benutting van de opwek door de dag heen vergelijken we het etmaalpatroon voor doordeweekse dagen en weekenddagen afzonderlijk in de maanden mei en augustus voor enkele uiteenlopende profielen/huishoudens:

- weinig opwek, gemiddelde benutting en weinig verbruik (nr.2)
- gemiddelde opwek, veel directe benutting, veel verbruik (nr. 9)
- weinig opwek, weinig directe benutting en gemiddeld verbruik (nr. 6)
- veel opwek, gemiddelde benutting, veel verbruik' (nr. 7)
- gemiddelde opwek, zeer weinig directe benutting, gemiddeld verbruik (nr. 12)

De kwalificatie van de opwek (weinig gemiddeld, veel) is gebaseerd op de verdeling in het panel. Gemiddeld in Nederland ligt het vermogen van de pv-installaties van huishoudens net iets onder de 4.000 Wp.³⁴ Dat zou gemiddeld in de maanden mei t/m september zo'n 414 kWh opleveren ($61\% \cdot 0,85 \cdot \text{Wp installatie}$)³⁵. De huishoudens met weinig opwek zijn dan ook voor Nederlandse begrippen eerder 'gemiddeld'.

Voor elk van deze huishoudens wordt allereerst het profiel geschetst van kenmerken (opwek, verbruik, kenmerken woning, kenmerken huishouden en kenmerken installaties en apparaten). Vervolgens wordt voor de twee maanden het patroon van opwek en verbruik (gemeten en afgeleid o.b.v. teruglevering) in beeld gebracht voor doordeweekse dagen en weekenddagen. Daarbij wordt dan verkend in welke mate de verbruikspatronen te herleiden zijn tot de kenmerken van de huishoudens en in hoeverre gedragscomponenten – in het bijzonder rond opladen van de elektrische auto – hieruit kunnen worden geïdentificeerd.

³⁴ CBS, [Vermogen zonnepanelen iets minder sterk toegenomen in 2023](#)

³⁵ Op basis van de algemene landelijke verdeling van de opbrengst van pv-panelen (figuur 5-5) wordt verwacht dat 61% van de jaarlijkse opwek in de maanden mei t/m september wordt gerealiseerd. Omdat 2024 qua zoninstraling redelijk overeen komt met dit gemiddelde, lijkt dit aandeel hier ook toepasbaar.

Profiel nr. 2 (468): weinig opwek, gemiddeld directe benutting weinig verbruik

Opwek (mei/sept): 387 kWh

Twee personen: 30-66 jaar

% directe benutting opwek: 19%

Vrijwel altijd iemand thuis

Verbruik (mei/sept): 147 kWh

Koken: elektrisch

% directe benutting in verbruik: 51%

Verwarming: hybride warmtepomp

Apparaten tijdens zonuren: neutraal

Afgifte: radiatoren

Woningtype: 2/1 kap

Bijverwarming: geen

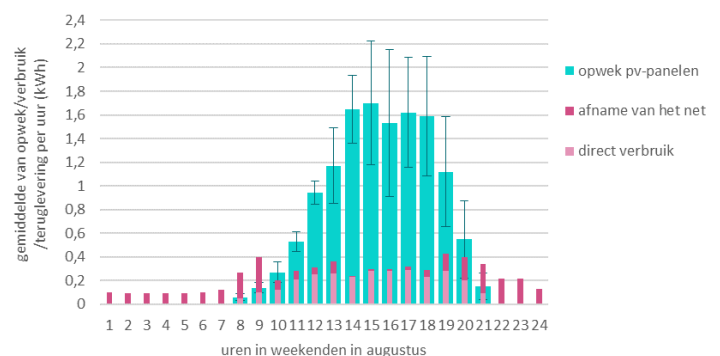
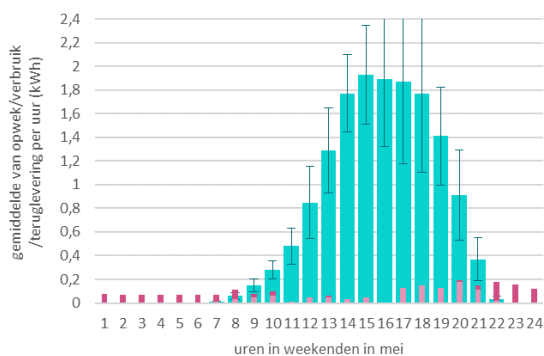
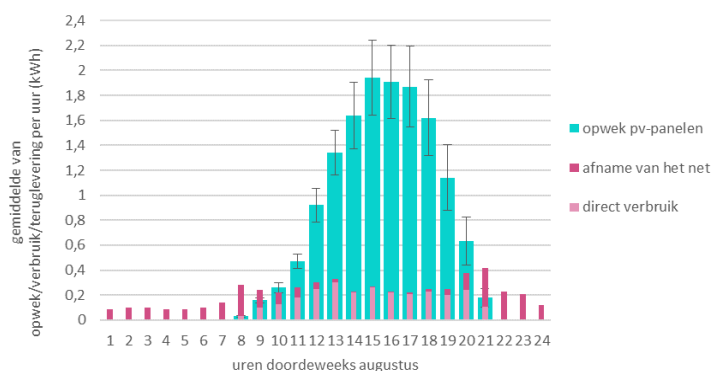
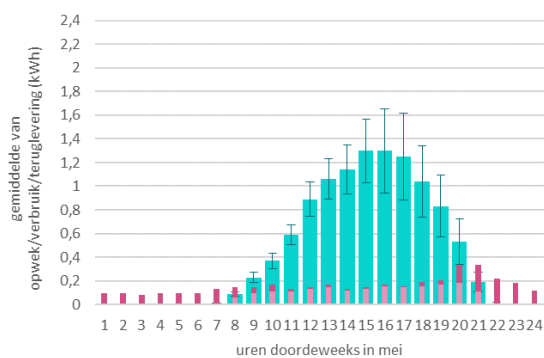
Oppervlak: 150 m²

Tapwater: hoofdverwarming + zonneboiler

Bouwjaar: 1992-2005

Elektrische auto: geen

Isolatie: goed

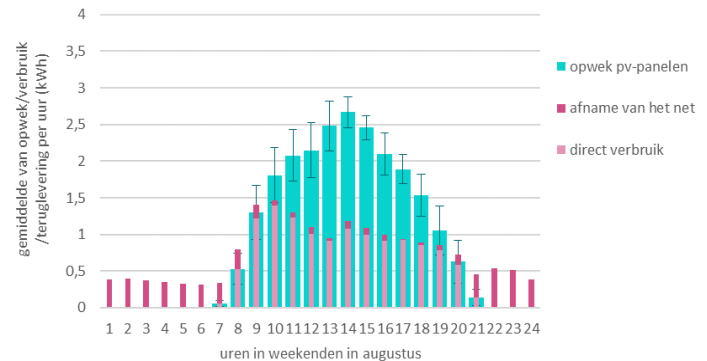
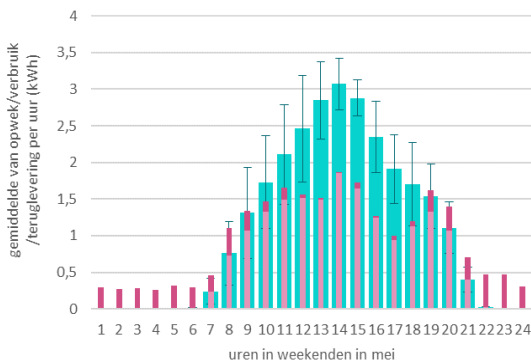
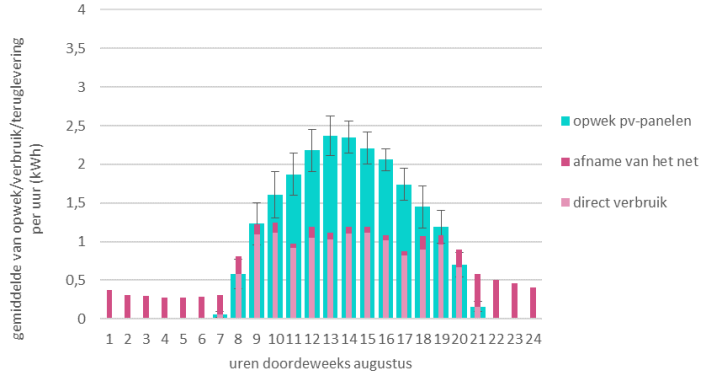
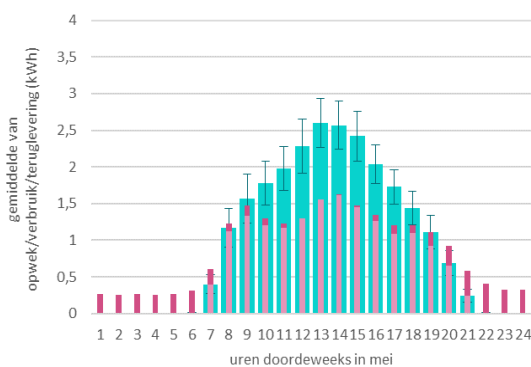


Profiel 2 valt vooral op door het lage elektriciteitsverbruik. Dit verbruik is vrij constant gedurende dag. Er zijn kleine pieken te zien in de ochtend en avond. Dat hangt vermoedelijk vooral samen (elektrisch) koken. Een klein aandeel zou voor douchen kunnen worden gebruikt, maar omdat voor warm tapwater ook een zonneboiler wordt gebruikt, zal dat in de zomermaanden beperkt zijn. De zonneboiler draagt – in deze maanden – vermoedelijk sterk bij aan de lage ochtendpieken voor het douchen. Overdag slaagt men erin om het elektriciteitsverbruik in hoofdzaak door de eigen opwek te voeden. Per saldo wordt 19% van de opwek direct benut voor eigen gebruik. Het overgrote deel wordt dus teruggeleverd aan het net.

Profiel nr. 9 (2190): gemiddelde opwek, veel directe benutting, veel verbruik

Opwek (mei/sept): 669 kWh	twee personen: 30-66 jaar
% directe benutting opwek: 61%	variabele aanwezigheid (min. 1 persoon altijd)
Verbruik (mei/sept): 566 kWh	Koken: gas
% directe benutting in verbruik: 72%	Wasdroger: ja
Apparaten tijdens zonuren: helemaal eens	Verwarming: combiketel
Woningtype: hoekwoning	Afgifte: radiatoren
Oppervlak: 95 m2	Bijverwarming: nee
Bouwjaar: 1992-2005	Tapwater: hoofdverwarming
Isolatie: label A	Elektrische auto: nee

Overig: aquarium/terrarium



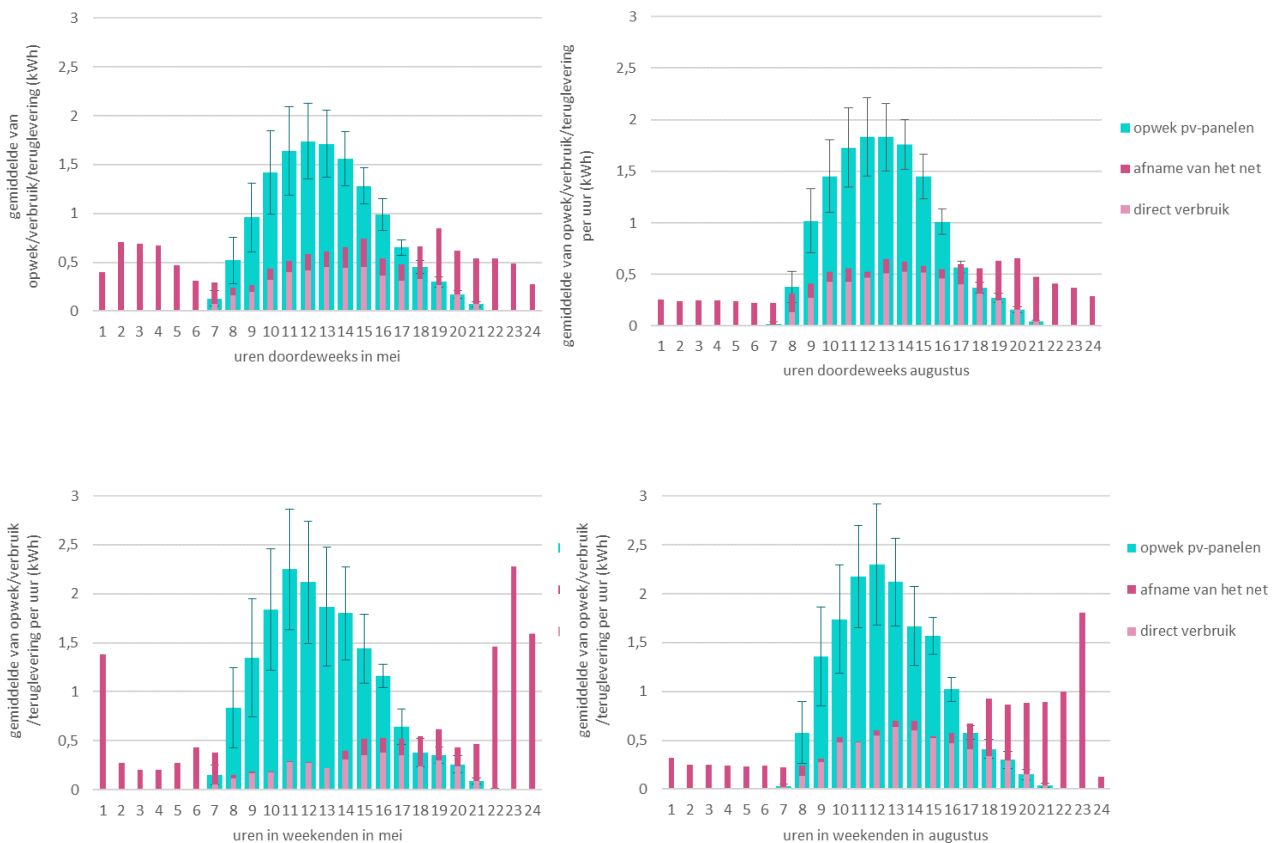
Het elektriciteitsverbruik van dit huishouden ligt hoog. Daarbij moet echter worden bedacht dat dit verbruik deels (het direct benutte deel van de opwek) wordt afgeleid uit het verschil tussen opwek en teruglevering. In verhouding tot de opwek levert dit huishouden betrekkelijk weinig terug, waardoor het directe verbruik hoog wordt ingeschat. Dát dit huishouden veel verbruikt, is mogelijk vanwege de aanwezigheid van een aquarium/terrarium. Het is echter opvallend dat het elektriciteitsgebruik vooral overdag hoog is. Dat komt niet overeen met het verwachte constante patroon van energiegebruik van een aquarium/terrarium. Het huishouden heeft ook geen elektrische auto die overdag zou kunnen worden opgeladen noch andere apparaten en omstandigheden (klein huishouden, kleine woning) die een hoog verbruik aannemelijk maken.

Het door het huishouden opgegeven vermogen van de pv-installatie is 3600 Wp (8 panelen, 450 Wp per paneel). De verwachte opwek met dat vermogen zou logischerwijs 80% lager liggen dan wat uit

de registratie volgt (zie ook paragraaf 5.3). Als dat opgegeven vermogen wordt gevolgd, zou de directe benutting van de opwek voor dit huishouden op 30% uitkomen in plaats van 61% (42% van het totale elektriciteitsverbruik i.p.v. 72%). Dat lijkt waarschijnlijker.

Profiel nr. 6 (1143): weinig opwek, veel directe benutting en gemiddeld verbruik

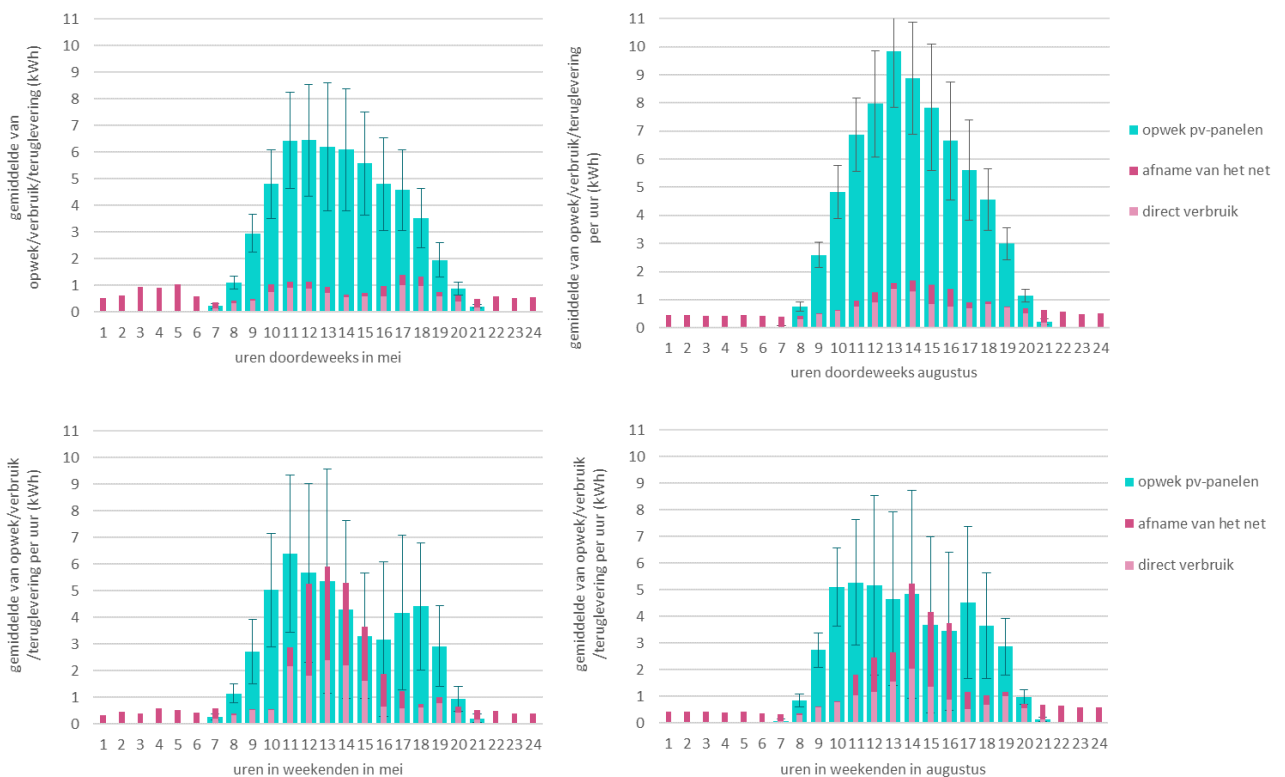
Opwek (mei/sept): 428 kWh	Vier personen: 2x 30-66 jaar; 1x 5-18; 1x19-29
% directe benutting opwek: 33%	variabele aanwezigheid (min. 1 persoon altijd)
Verbruik (mei/sept): 378 kWh	Koken: gas
% directe benutting in verbruik: 38%	Verwarming: Cv-ketel
Apparaten tijdens zonuren: neutraal	Afgifte: radiatoren
Woningtype: 2/1 kap	Bijverwarming: elektrische kachel
Oppervlak: 138 m ²	Tapwater: hoofdverwarming + keukenboiler
Bouwjaar: 1992-2005	Elektrische auto: ja , af en toe thuis opladen
Isolatie: label B	



Dit huishouden heeft een elektrische auto. Aan het verbruikspatroon kan worden gezien dat deze naar alle waarschijnlijkheid vooral in het weekend en dan in de avonduren wordt opgeladen. Het thuis opladen – waarvan men ook aangeeft dat dit af en toe gebeurt - vindt daarmee vooral plaats buiten de periode dat er elektriciteit wordt opgewekt. De opwek wordt daardoor relatief weinig benut, wat het relatief lage aandeel van de opwek in het totale verbruik verklaart (38% versus 50% gemiddeld). Dit komt overeen met de neutrale houding van het huishouden in relatie tot de stelling dat apparaten vooral tijdens zonuren worden gebruikt.

Profiel nr. 7 (1227): veel opwek, gemiddelde benutting, veel verbruik

Opwek (mei/sept): 1.927 kWh	twee personen: 30-66 jaar
% directe benutting opwek: 18%	variabele aanwezigheid (min. 1 persoon altijd)
Verbruik (mei/sept): 719 kWh	Koken: elektrisch
% directe benutting in verbruik: 49%	Wasdroger: ja
Apparaten tijdens zonuren: helemaal eens	Verwarming: hybride warmtepomp
Woningtype: vrijstaand	Afgifte: vloerverwarming + radiatoren
Oppervlak: 240 m ²	Bijverwarming: airconditioning
Bouwjaar: 1945 of eerder	Tapwater: elektrisch doorstroomapparaat
Isolatie: goed	Elektrische auto: ja , af en toe thuis opladen

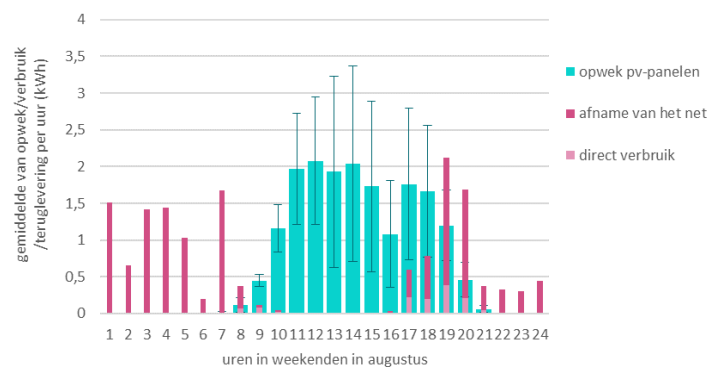
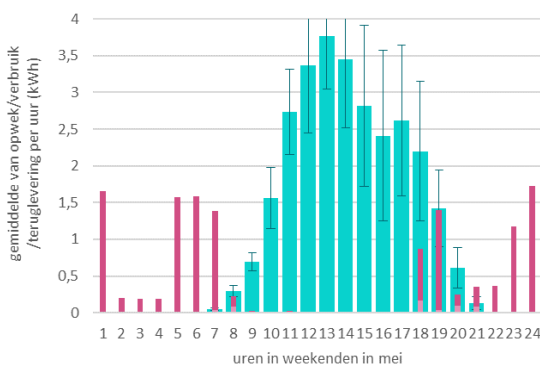
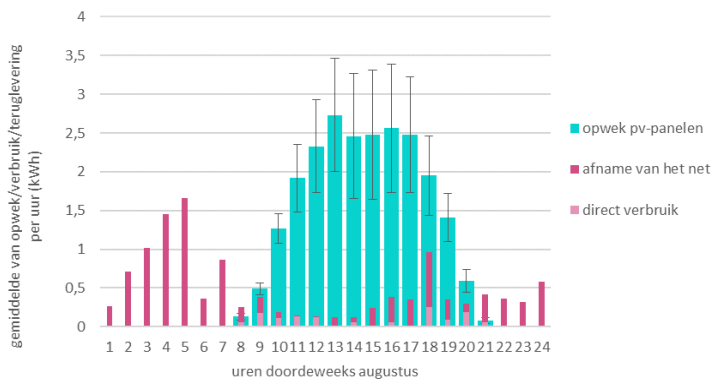
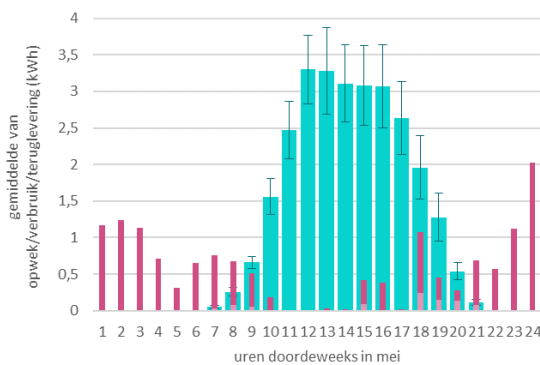


Ook dit huishouden heeft een elektrische auto die af en toe thuis wordt opgeladen. Aan het verbruikspatroon is te zien dat het opladen vooral overdag in het weekend lijkt plaats te vinden. Het aandeel van de eigen opwek in het totale verbruik ligt voor dit huishouden daardoor – ondanks het hoge verbruik – met 49% rond het gemiddelde. Het huishouden wekt veel elektriciteit op. Daardoor is het aandeel dat daarvan wordt benut met 18% laag. Naast de elektrische auto kan ook de airconditioning bijdragen aan het hoge verbruik.

Opvallend is dat, hoewel het opladen in het weekend vooral overdag plaatsvindt er op die momenten een relatief groot aandeel elektriciteit van het net wordt afgenomen. Het is de vraag of dat aannemelijk is. Dat is te meer de vraag omdat de omvang van de opwek niet past bij het opgegeven vermogen van de pv-installatie (7.560 Wp). Die installatie zou logischerwijs ongeveer de helft van de gemeten opwek leveren (zie paragraaf 5.3). Aan de andere kant past de teruglevering (veel) wel bij de opwek. Daardoor is het aannemelijk dat het in de vragenlijst opgegeven vermogen niet juist is en er 'gewoon' relatief vaak een mismatch is tussen opladen en zonuren.

Profiel nr. 12 (3163): gemiddelde opwek, weinig directe benutting, gemiddeld verbruik

Opwek (mei/sept): 729 kWh	twee personen: 2x 30-66 jaar
% directe benutting van opwek: 8%	Vrijwel altijd thuis
Verbruik (mei/sept): 400 kWh	Koken: elektrisch
% directe benutting in verbruik: 15%	Wasdroger: ja
Apparaten tijdens zonuren: eens	Verwarming: warmtepomp (lucht)
Woningtype: vrijstaand	Afgifte: vloerverwarming en radiatoren
Oppervlak: 203 m ²	Bijverwarming: nee
Bouwjaar: 2006-2014	Tapwater: hoofdverwarming
Isolatie: label A	Elektrische auto: ja, meestal thuis opladen
	Overig: pelletkachel
	Balansventilatie met wtw



Ook dit huishouden heeft een elektrische auto. Deze wordt volgens opgave van het huishouden meestal thuis opgeladen. Aan het verbruikspatroon is te zien dat dit overwegend in de avond- en nacht gebeurt, zowel doordeweeks als in het weekend. Opladen gebeurt daarmee vooral buiten de periode waarin elektriciteit wordt opgewekt.

Er valt op dat dit huishouden overdag – tijdens de periode waarin elektriciteit wordt opgewekt - bijzonder weinig elektriciteit verbruikt. Op sommige momenten wordt er gemiddeld meer teruggeleverd dan opgewekt, wat twijfels plaatst bij de kwaliteit van de gegevens over de opwek. Of de 8% directe benutting van de opwek valide is, is dan ook niet geheel zeker. Op basis van het door het huishouden opgegeven vermogen van de pv-installatie (9.100 Wp) zou er ruim 200 kWh per maand meer opbrengst worden verwacht (en dus ook meer direct verbruik).

5.3 Schatting opwek pv-installaties

Als de werkelijke opbrengsten van een pv-installatie onbekend zijn, is een benadering noodzakelijk om de opbrengst van zonnepanelen – en het werkelijke elektriciteitsverbruik van een huishouden – te bepalen. We gaan na in hoeverre de inschatting van de opwek kan worden gemaakt door gebruik te maken van de volgende basisgegevens:

- Aantal zonnepanelen
- Wattoek (Wp) per paneel³⁶
- Zoninstraling

Uit de combinatie van het aantal panelen en het vermogen per paneel kan het totale vermogen van de installatie worden afgeleid. Het vermogen van de installatie in Wp is het vermogen onder standaard testcondities. Deze zijn standaard testcondities zijn³⁷:

- de sterkte van de invallende zonnestralen: een hoeveelheid elektromagnetische straling met een vermogen van 1000 W/m² (vollezon);
- het zonnespectrum: genormaliseerd voor AM = 1,5. AM is air mass, luchtmassa, een maat voor de relatieve lengte van de lichtweg door de atmosfeer – de kortste afstand is bij 90°; dan geldt AM =1. AM =1,5 geldt bij een hoek van 48,2°,38
- de richting van de invallende zonnestralen: loodrecht op de zonnecellen;
- de temperatuur van de zonnecellen: 25 °C.

Daarnaast wordt bij de standaard condities geen rekening gehouden met veroudering van het systeem of de verliezen die ontstaan in de omvormer.

Wattoek staat dus voor een optimaal vermogen van een paneel bij een air mass die past bij de situatie in Europa. Dit optimale vermogen zal een paneel gedurende een jaar in de praktijk niet leveren. Gedurende het jaar, maar ook in een etmaal verandert het vermogen dat een paneel kan leveren bij eenzelfde zoninstraling. In de zomer is de temperatuur van de zonnecellen hoger, wat het vermogen doet afnemen. Dat geldt ook voor situaties waarbij er bewolking is en de straling dus minder. Daarnaast zal de invalshoek van de straling in de praktijk variëren, afhankelijk van de stand van de zon, de oriëntatie van de panelen en de hoek waaronder ze zijn opgesteld. Ook de lengte van de lichtweg door de atmosfeer is geen constante.

Gebaseerd op meerjarige metingen varieert de gemiddelde jaarlijkse instralingsenergie (intensiteit (W/m²) * aantal zonuren) in Nederland tussen de 980 kWh/m² in Oost-Nederland en 1070 kWh/m² aan de kust.³⁹ Om die reden wordt in vuistregels voor Nederland ook wel uitgegaan van een jaarlijkse instraling van gemiddeld 1.000 kWh/m².

De gemiddelde zoninstraling in Nederland in combinatie met de constatering dat een paneel geen 100% van het vermogen zal kunnen leveren, leidt tot de vuistregel dat de gemiddelde opbrengst van een zonnepaneel in een jaar (in kWh) uitkomt op 85% van het optimale vermogen (Wp). Voor een

³⁶ We weten dat het vermogen van zonnepanelen in de regel tussen de 275 en 500 Wattoek ligt. Daaruit volgt dat een aantal respondenten het vermogen van de installatie heeft ingevuld. Hiervoor moet nog worden gecorrigeerd.

³⁷ <https://nl.wikipedia.org/wiki/Wattoek>

³⁸ <https://zonnepaneel-info.nl/nl/1pv.html>

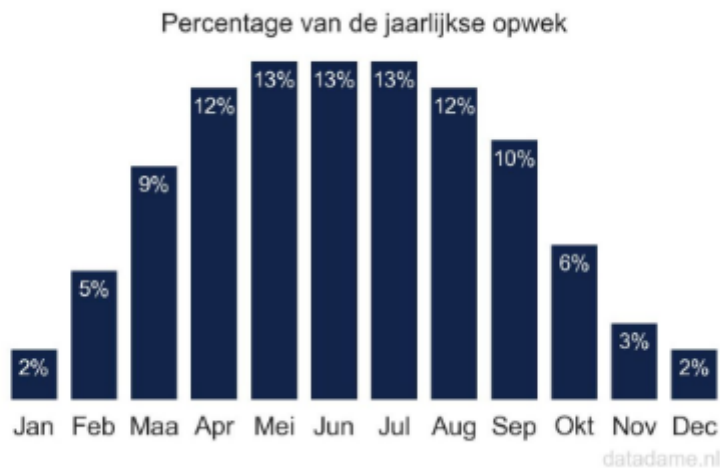
³⁹ <https://zonnecollector-info.nl/nl/zoninstraling.html>

goed georiënteerd systeem zou dat 0,9 kunnen zijn.⁴⁰ Met een installatie van 3.000 Wp zou dat bij een factor 0,85 gemiddeld op een opbrengst van 2.550 kWh per jaar uitkomen. In werkelijkheid varieert de hoeveelheid zon van jaar tot jaar. Zo was 2022 een goed jaar voor zonnepaneelbezitters en waren 2023 en 2024 weer wat minder. Dit kan ook worden uitgedrukt als de verhouding tussen de opbrengst van een installatie en het vermogen (kWh/Wp). Dat resulteert in een verhouding van 0,98 in 2022, 0,87 in 2023 en 0,82 in 2024 en.⁴¹ Dit heeft overigens niets te maken met de prestatie van de zonnepanelen, maar met hoeveel zon er op is gevallen.

5.3.1 Benadering van de opbrengst in een specifieke maand

De gemiddelde opbrengst per jaar laat zich ook vertalen in gemiddelde opbrengsten per maand (als aandeel van de totale opbrengst). Een voorbeeld daarvan wordt weergegeven in figuur 5-4.

figuur 5-4 Opbrengst per maand als aandeel van de jaarlijkse opwek, overgenomen van: <https://www.datadame.nl/energie/opbrengst-zonnepanelen-gedurende-een-dag/>



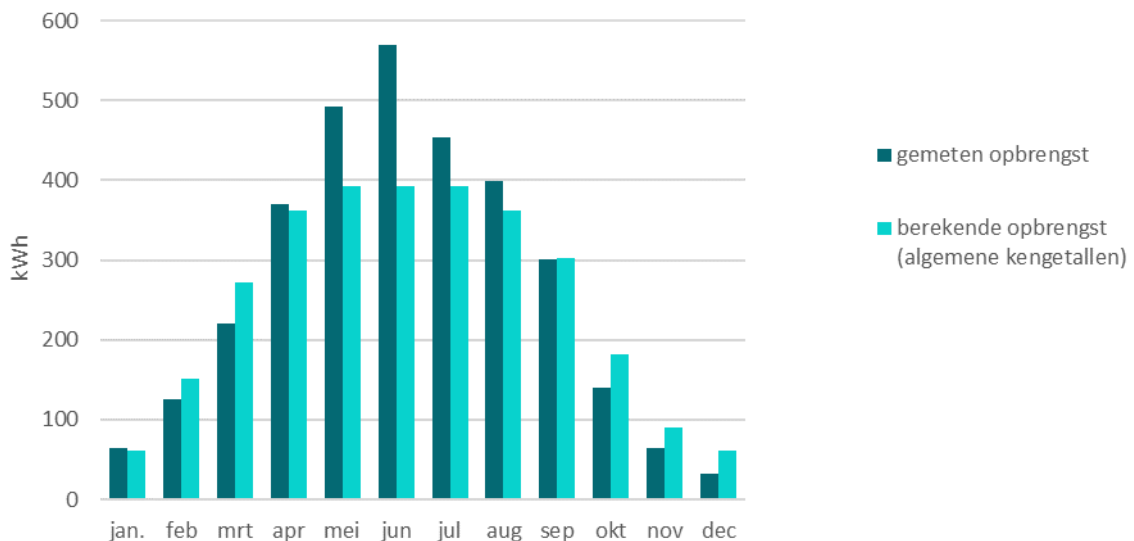
De makkelijkste short cut om een opbrengst per maand te berekenen zou dan zijn om de aandelen uit figuur 5-4 te vermenigvuldigen met de geschatte jaaropbrengst, gegeven het aantal Wp van de installatie. Dus, bijvoorbeeld: bij 3.555 Wp geldt in januari een opbrengst van $0,85 * 3.555 * 2\% = 60$ kWh. Daarmee wordt echter geen recht gedaan aan de werkelijke variatie in zoninstraling die tussen jaren en maanden kan bestaan.

Doorrekening van deze methode voor 2023 bij een specifieke installatie (3.555 Wp, oriëntatie zuid-zuidwest, plaatsingshoek van de panelen 15-35°, geen schaduwwerking, hierna aangeduid als: testinstallatie) levert een onderschatting op van de opwek in dat jaar van zo'n 6,5%. Vooral in de zomermaanden was de gemeten opbrengst groter. Omgekeerd was de werkelijk opbrengst in de meeste maanden van het stookseizoen kleiner dan de berekende opbrengst (figuur 5-5). De verschillen zijn dusdanig dat moet worden geconcludeerd dat deze methode niet geschikt is om de maandelijkse variatie in opbrengsten van de pv-installaties te schatten.

⁴⁰ Zie bijvoorbeeld <https://fritts.nl/category/opbrengst-zonnepanelen/>

⁴¹ <https://www.solarcare.eu/nl/nieuws/32-gemiddelde-zonnepanelen-opbrengsten-in-nederland-in-2023.html>

figuur 5-5 Opbrengst testinstallatie in 2023 per maand en berekening o.b.v. algemene kengetallen
maandelijks verdeling in figuur 5-4



5.3.2 Gebruik zoninstraling

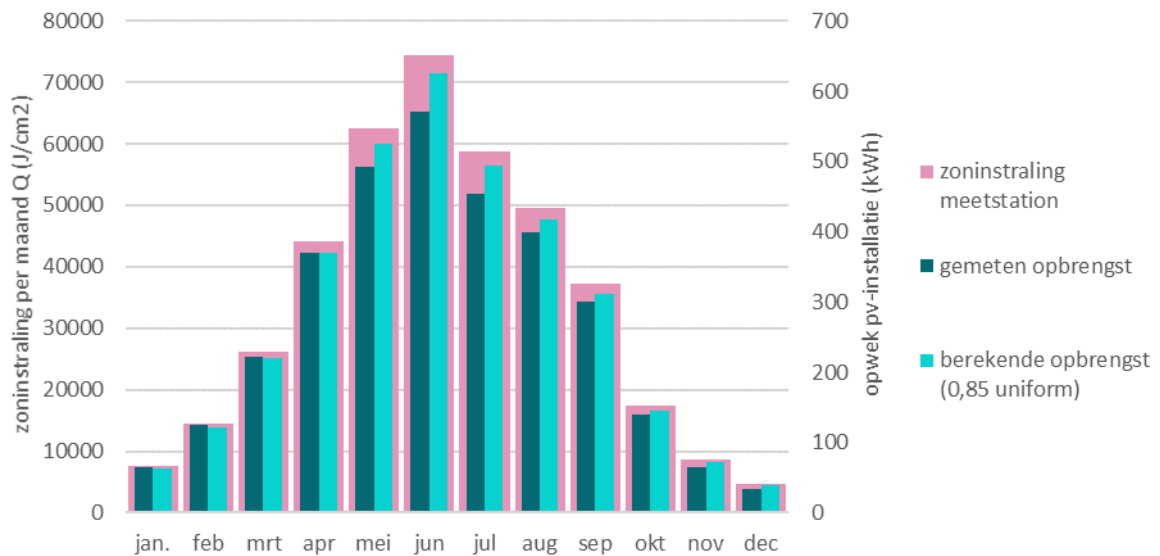
Door gebruik te maken van de werkelijke zoninstraling kan de schatting worden verbeterd. Het KNMI levert de zoninstraling (Q) in J/cm² per dag in een jaar voor afzonderlijke meetstations. Somming van de dagwaarden van het dichtstbijzijnde meetstation levert de relevante maandwaarde. Deze kan worden omgerekend naar kWh/m² door te delen door 360.

Vervolgens kan de theoretische opbrengst van de installatie in een maand worden berekend door de zoninstraling in die maand te vermenigvuldigen met het vermogen van de installatie (in Wp). Tot slot moet nog de inefficiëntie van de installatie worden verrekend, bijvoorbeeld door te vermenigvuldigen met 0,85. Dat levert navolgende verdeling (en verschil met de werkelijke opbrengst) in 2023 voor de genoemde specifieke installatie (figuur 5-6).

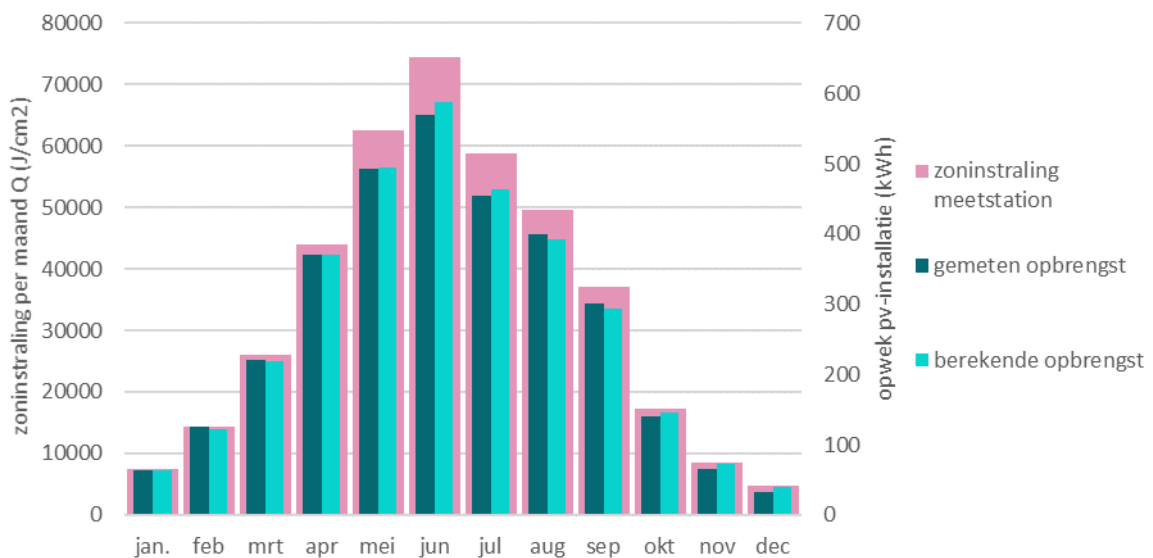
In de figuur valt op dat de berekening leidt tot een iets te hoge opbrengst, maar ook dat er verschillen zijn tussen de zomerperiode en de winterperiode. In het stookseizoen wordt de werkelijke opbrengst goed benaderd. In de zomer is de theoretische opbrengst hoger dan de werkelijke opbrengst. Dit suggereert dat de installatie – zoals verwacht – minder efficiënt functioneert in de zomer als het warm is dan in de koelere maanden. Dit pleit voor een seizoensgebonden differentiatie van de correctiefactor, bijvoorbeeld 0,85 in het stookseizoen en 0,8 buiten het stookseizoen (mei t/m september). Dat levert het beeld op dat in figuur 5-7 is weergegeven.

Met deze seizoensgebonden correctiefactoren wordt de werkelijke opbrengst van de PV-installatie vrij nauwkeurig voorspeld. Op maandbasis liggen de afwijkingen tussen de -18 en +7 kWh. Op jaarbasis is de afwijking 0 kWh. Het is mogelijk dat op deze manier te veel wordt gecorrigeerd op basis van kenmerken van de specifieke installatie en de specifieke weersomstandigheden in dit jaar. Bij andere installaties, bijvoorbeeld met een andere plaatsing van de panelen, en bij andere weersomstandigheden kunnen andere correctiefactoren aan de orde zijn.

figuur 5-6 Opbrengst testinstallatie in 2023 o.b.v. zoninstraling meetstations Schiphol-Airport, meting en berekening bij factor 0,85



figuur 5-7 Opbrengst testinstallatie in 2023 o.b.v. zoninstraling meetstations Schiphol-Airport, meting en berekening bij factor 0,85 in het stookseizoen en 0,8 buiten het stookseizoen (mei t/m september)



5.3.3 Toetsing van het model

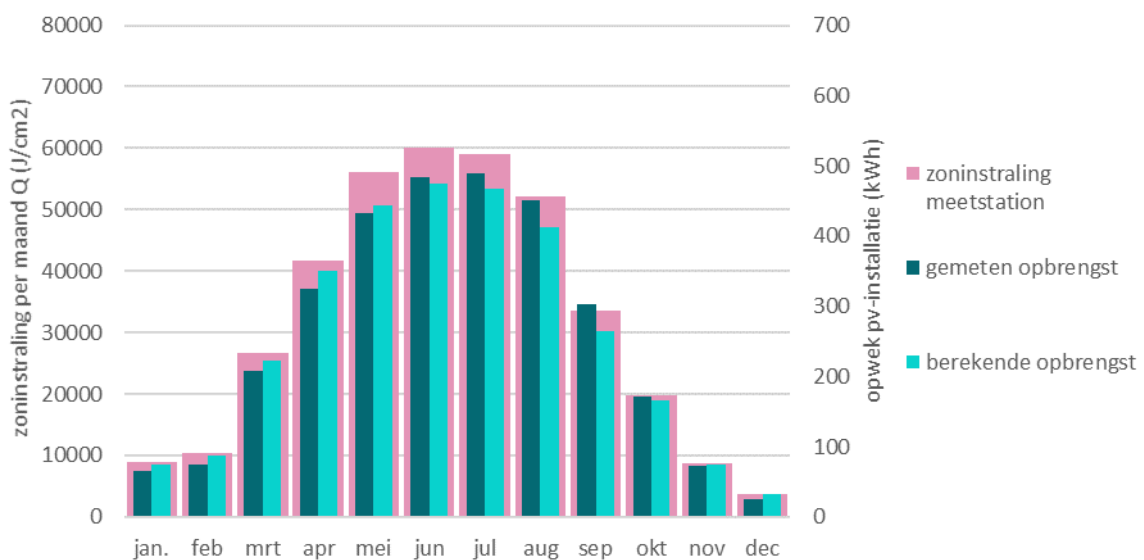
Toetsing op 2024

Toepassing van de op 2023 ontwikkelde methodiek op het jaar 2024 levert voor dezelfde installatie het beeld op dat in figuur 5-8 is weergegeven. Op jaarbasis levert de methodiek dan een onderschatting op van 1% ten opzichte van de werkelijke opbrengst (-31,8 kWh). Dat lijkt acceptabel. Op maandbasis zijn de afwijkingen echter wel flink groter dan in 2023 (tussen de -38 kWh in september en + 27 kWh in april). In de zomermaanden juni t/m september is er een onderschatting van de opwek terwijl

er in de winter en in het voorjaar een overschatting is. Dit kan te maken hebben met lokale verschillen in de zoninstraling op de locatie van de installatie en de locatie van het meetstation.

Het is daarnaast waarschijnlijk dat de correctiefactor specifieker – bijvoorbeeld temperatuurafhankelijk, of afhankelijk van het gemeten niveau van zoninstraling - moet worden gemaakt. De zomermaanden waren in 2024, vergeleken met 2023, namelijk relatief koel, waardoor de correctiefactor van 0,8 mogelijk te ongunstig was. Met de beschikbare data is het vooralsnog niet mogelijk om een dergelijke gedifferentieerde correctiefactor te ontwikkelen. Dat vraagt om een grotere dataset van meerdere jaren en meerdere installaties.

figuur 5-8 Opbrengst testinstallatie in 2024 o.b.v. zoninstraling, berekening bij factor 0,85 in het stookseizoen en 0,8 buiten het stookseizoen (mei t/m september)



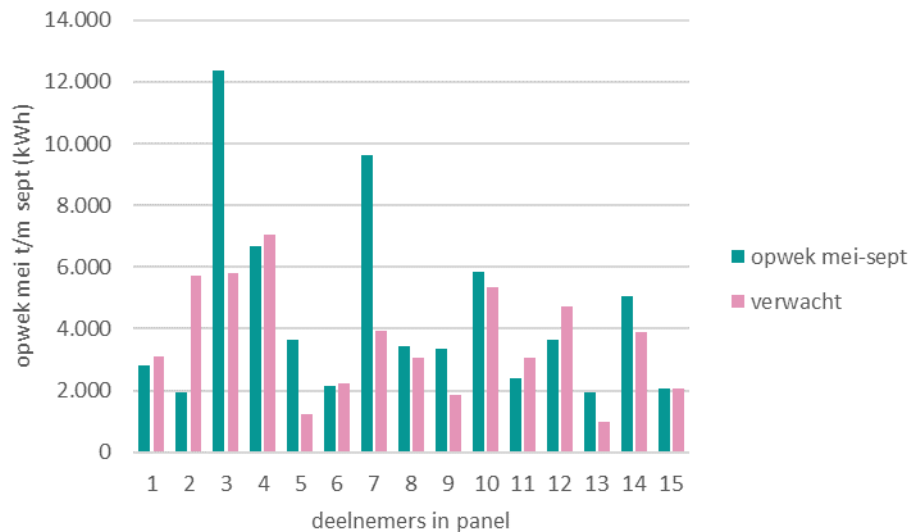
Toetsing zomermaanden in het panel

We kunnen testen of de methode kan worden toegepast op andere installaties door gebruik te maken van de dataset met opwekgegevens van 15 respondenten in de maanden mei t/m september. We vergelijken dan de gemeten totale opbrengst in die periode met de berekende opbrengst op basis van de zoninstraling op het dichtstbijzijnde weerstation (met beschikbare data) en het door het huishouden opgegeven vermogen van de pv-installatie.

Om een eerste indruk te krijgen, vergelijken we de gemeten opwek met de verwachte opwek in de maanden mei t/m september op basis van de generieke verdeling van de opwek in een jaar (figuur 5-4). De zoninstraling in 2024 komt daar namelijk aardig mee overeen. De verwachting is dan dat in de maanden mei t/m september 61% van de jaarlijks verwachte opbrengst (die wordt bepaald als 0,85 * Wp installatie) wordt gerealiseerd.

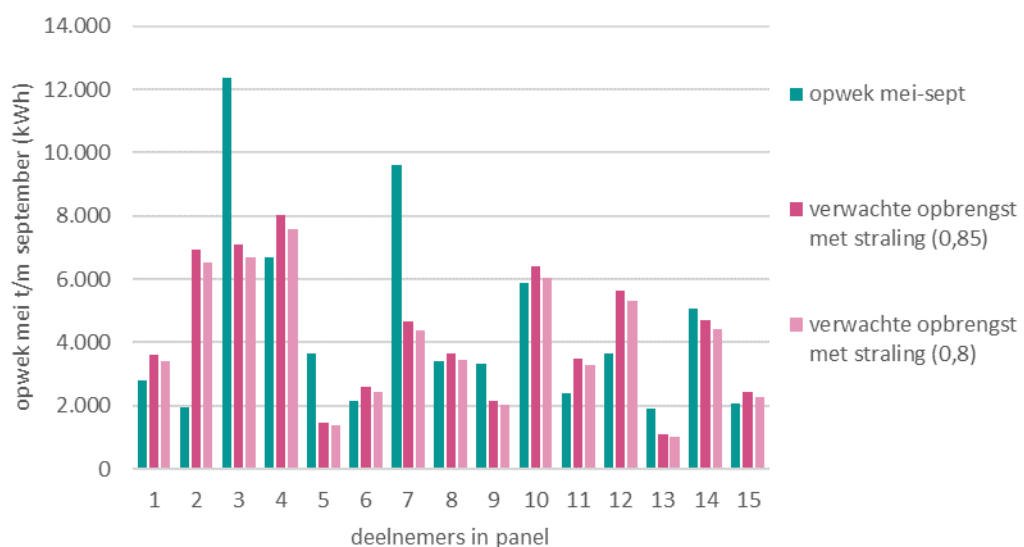
Voor de testinstallatie is het verschil bij die aanname 316 kWh, wat neerkomt op 17% (meer opwek dan verwacht) op jaarbasis. Bij de respondenten in het panel zijn de verschillen vaak een stuk groter (figuur 5-9). Bij huishoudens 3, 5, 7 en 13 is de gemeten opwek 2 keer (of meer) groter dan de verwachte opbrengst. Huishouden 9 heeft 80% meer opbrengst dan verwacht. Bij huishouden 2 is de gemeten opbrengst beduidend kleiner dan verwacht op basis van het opgegeven vermogen van de installatie (factor 3). Voor 9 van de 15 deelnemers ligt de afwijking in de orde van grootte van de testinstallatie.

figuur 5-9 Gemeten en verwachte opwek zonnepanelen mei t/m sept 2024 o.b.v. algemene verdeling opbrengst (zie figuur 5-4)



Het is niet waarschijnlijk dat de genoemde grote verschillen tussen gemeten en verwachte opwek kunnen worden verklaard door lokale weersfactoren of specifieke kenmerken van de installatie (schaduwwerking, oriëntatie en hellingshoek van de panelen). Halvering van de opbrengst i.r.t. de verwachting op basis van het opgegeven vermogen lijkt het maximaal redelijke verschil (opbrengst bij alleen indirecte straling). En een verdubbeling van de opbrengst t.o.v. het vermogen van de installatie is voor zover bekend niet mogelijk. Berekening van de verwachte opwek op basis van de zoninstraling bij het dichtstbijzijnde meetstation levert ook een min of meer vergelijkbaar beeld (figuur 5-10).

figuur 5-10 Gemeten en verwachte opwek zonnepanelen mei t/m sept 2024 o.b.v. vermogen installatie en zoninstraling op dichtstbijzijnde meetstation (zie figuur 5-4)



Vooraf bij de situaties waarbij de opwek (meer dan) 2 keer zo groot is als verwacht (huishoudens 3, 5, 7, 9 en 13) of 3 keer zo laag (huishoudens 2) kunnen twijfels worden gezet bij het opgegeven vermogen

van de installaties (i.c. het aantal zonnepanelen dat men bezit). Dat betreft een derde van het panel. Maar ook het omgekeerde is mogelijk: dat de gegevens over de opwek niet betrouwbaar zijn. Dat lijkt bijvoorbeeld – naast de eerder al uitgesloten gevallen waarbij er meer wordt teruggeleverd dan opgewekt - aan de orde bij huishoudens nr. 9 dat opvallend weinig teruglevert in verhouding tot de opwek (en veel opwekt in verhouding tot het opgegeven vermogen van de installatie).

Bij huishoudens 2, 3, 5, 7 en 13 lijken gemeten opwek en teruglevering in een redelijke verhouding tot elkaar te liggen (teruglevering ligt tussen 67% en 93%). Bij die huishoudens ligt het in de rede dat het in de vragenlijst opgegeven vermogen niet juist is. Vooral bij huishouden 9 (39%teruglevering) zijn er twijfels bij de gegevens over de opwek.

5.4 Conclusies

- 1) In de zomermaanden wordt bij de kleine steekproef van huishoudens waar gegevens over opwek voor beschikbaar zijn zo'n 20% van de opgewekte elektriciteit voor eigen gebruik benut. Dit getal kan niet zonder meer worden gegeneraliseerd naar de totale populatie van pv-paneelbezitters of naar het gehele jaar:
 - De directe benutting neemt af met het vermogen. Daardoor is het aannemelijk dat de directe benutting in de populatie wat hoger ligt (en uitkomt op ca. 25%) dan in het panel.
 - De opwek ligt hoger in de zomermaanden dan in het stookseizoen. Het is daarmee aannemelijk dat in de zomermaanden de directe benutting lager ligt dan in het stookseizoen. Minder opwek en een min of meer gelijk verbruik leidt in het stookseizoen tot een groter aandeel directe benutting (ca. 50%), gesteld dat de mismatch tussen opwek en elektriciteitsgebruik ongeveer gelijk blijft. Omdat dit grotere aandeel wel betrekking heeft op minder opwek (gemiddeld 39% van het jaartotaal), zou dat neerkomen op een jaarlijkse directe benutting van de eigen opwek van ca. 35%.
 - Het is aannemelijk dat de mismatch in het stookseizoen wat groter is dan in de zomermaanden omdat er minder zonuren zijn en de kans dus groter is dat elektriciteit wordt verbruikt als er geen zoninstraling is. Hoeveel dat precies is, is onbekend, maar het maakt het al met al aannemelijk dat de 30% directe benutting die in 'de markt' wordt genoemd een aannemelijk gemiddelde is.
- 2) Het relatief geringe deel van de eigen opwek dat wordt benut voor het elektriciteitsgebruik van een huishouden wordt veroorzaakt door een mismatch in de tijd tussen zonuren en het elektriciteitsgebruik. Vooral bij huishoudens met een elektrische auto blijkt die mismatch geregeld aanzienlijk omdat de auto nogal eens in de avond of nacht wordt opgeladen of overdag als de zon niet schijnt.
- 3) Het is – bij afwezigheid van gegevens over de opwek - mogelijk om met behulp van de zoninstraling bij het dichtstbijzijnde weerstation en het vermogen van een pv-installatie een redelijk accurate inschatting te maken van de opwek. Daarbij geldt gemiddeld genomen:
 - a. $\text{Opwek} = \text{zoninstraling (kWh/m}^2\text{)} * 0,85 \text{ (rendement van de installatie)} * \text{vermogen van de installatie (Wp)}$;
 - b. Hoe lager het aggregatieniveau, hoe minder accuraat de voorspelling. De opwek op een specifiek moment geldt daarbij als het laagste aggregatieniveau en de totale opwek in een jaar als het hoogste. Dit wordt veroorzaakt door:

- i. Verschillen in zoninstraling tussen de pv-installatie en het dichtstbijzijnde meetstation;
 - ii. Verschillen in rendement van de installatie i.r.t. de temperatuur van de installatie. Deze verschillen in rendement van pv-installaties i.r.t. temperatuur kunnen verder worden uitgewerkt in temperatuurafhankelijke factoren om goede maandvariaties te kunnen maken. Dat vraagt wel om een grotere dataset over een langere periode;
 - iii. Plaatsing van de zonnepanelen (hellingshoek en oriëntatie);
 - iv. Ouderdom van de pv-installatie (rendement neemt af bij veroudering).
- 4) De gegevens van zowel opwek van de installaties als de opgegeven vermogens van de pv-installatie in de vragenlijst hebben hun beperkingen. De gegevens over de opwek zouden moeten kunnen worden geoptimaliseerd (zoals door alle omvormers samen te nemen). De onbetrouwbaarheden in de vragenlijst kunnen dat niet zonder aanvullende acties (nabellen, huisbezoek, dagboekjes) ter verificatie.