

Radarweg 60
1043 NT Amsterdam

www.tno.nl

T +31 88 866 50 10

TNO-rapport

TNO 2022 P10336

Warmtevraagprofielen voor buurten

Datum	30 mei 2022
Auteur(s)	Edwin Matthijssen, Marijke Menkveld, Frans Koene en Lars de Ridder
Aantal pagina's	28
Opdrachtgever	RVO
Projectnaam	RVO model warmtevraagprofielen

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2022 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Gebruik van de warmteprofielengenerator	4
3	Methode berekening warmtevraagprofielen	11
3.1	Woningkenmerken	11
3.2	Gebruikersgedrag	12
3.3	Berekening warmtevraag ruimteverwarming	13
3.4	Temperatuurberekening en verwarmingsbehoefte	16
3.5	Berekening warmtevraag warm tapwater	17
3.6	Berekening gasvraagprofiel gasketels	17
3.7	Berekening elektriciteitsvraagprofiel warmtepompen	18
4	Validatie van het rekenmodel	19
4.1	Validatie gasvraag	19
4.2	Gegenereerde profielen	20
4.3	Delft – Centrum Oost	21
4.4	Initialisatie van model parameters	25
5	Mogelijkheden verdere modelontwikkeling	26

1 Inleiding

In het klimaatakkoord is afgesproken dat 7 miljoen woningen en 1 miljoen utiliteitsgebouwen in 2050 geen gebruik meer maken van aardgas. Hiervoor moeten in 2030 reeds 1,5 miljoen bestaande woningen en gebouwen zijn verduurzaamd. Gemeentes hebben in hun Transitievisie Warmte uiterlijk 2021 bekend gemaakt welke opties in welke wijken en in welk tempo worden uitgevoerd. Daarnaast brengen de RES-regio's in de Regionale Structuur Warmte warmtevraag en -aanbod in de regio bij elkaar.

In aardgasvrije wijken worden gebouwen verduurzaamd en wordt de warmtevoorziening ingevuld met elektriciteit, groen gas en/of warmtenetten. Voor de dimensionering van de benodigde energie-infrastructuur is de piekvraag naar warmte leidend en dus het vraagprofiel van belang: de warmtevraag voor ieder uur van het jaar. Sommige technologiekeuzes hebben potentieel grote gevolgen voor bijvoorbeeld de capaciteit op het elektriciteitsnet, zoals all-electric warmtepompen.

Inzicht in de warmtevraagprofielen is nodig om een goede inschatting te maken van de impact op de energie-infrastructuur, en om de juiste integrale keuzes over de lokale en regionale warmtevoorziening te kunnen maken. Ook bij optimalisatie in het beheer van netten en analyses van vraagsturing of flexibiliteit is informatie over vraagprofielen nodig. Er is weinig informatie over warmtevraagprofielen beschikbaar, soms worden NEDU profielen voor aardgas gebruikt die een samenstelling van verschillende typen gebruikers omvatten en niet op wijkniveau gemeten worden maar zijn gegenereerd op basis van enkele gas overdracht stations van Gasunie in Nederland.

Om die reden heeft TNO een tool ontwikkeld waarmee voor elk uur van het jaar de warmtevraag voor een buurt kan worden berekend. Het resultaat is het warmteprofiel van de betreffende buurt. Deze tool – de warmteprofielgenerator – berekent dit vraagpatroon met een warmteverliesberekening per woning, rekening houdend met woningkenmerken. Bovendien wordt op buurniveau rekening gehouden met spreiding in gebruikersgedrag. Het vraagprofiel is daardoor meer kenmerkend voor de specifieke buurt en de isolatiegraad van de woningen die er staan.

Dit rapport beschrijft het gebruik van de tool (Hoofdstuk 2) en de rekenmethode (Hoofdstuk 3). In Hoofdstuk 4 staan de resultaten van de validatie van dit model door vergelijking met het jaarlijks gasverbruik van buurten uit CBS data. TNO heeft een eerste, publiek beschikbare versie van de warmteprofielgenerator ontwikkeld. TNO ziet diverse mogelijkheden voor verdere ontwikkeling van de tool. Deze mogelijkheden worden in Hoofdstuk 5 beknopt beschreven.

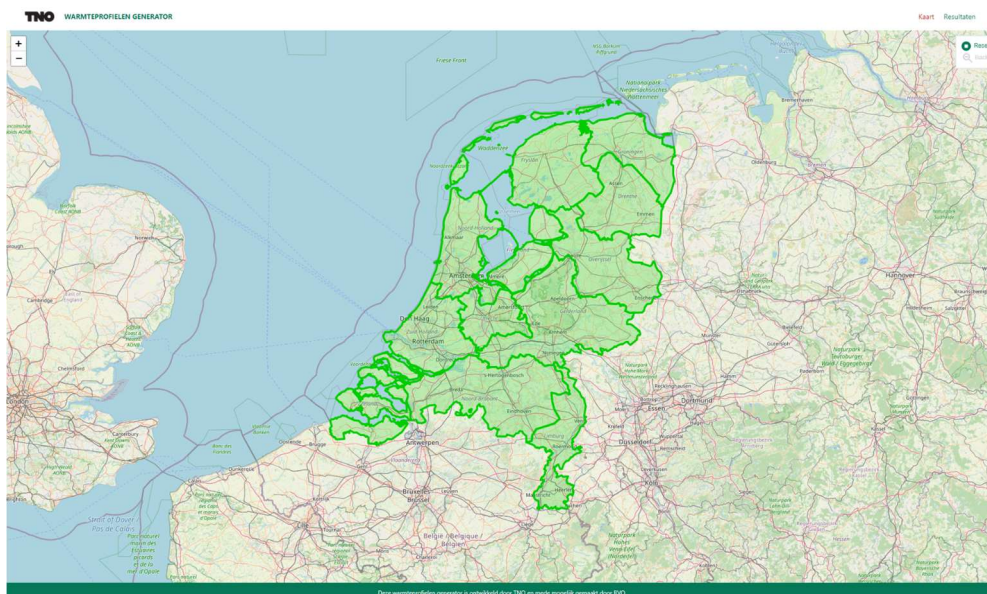
2 Gebruik van de warmteprofielengenerator

In dit hoofdstuk beschrijven we het gebruik van de tool.

1. Waar vind ik de tool?

De tool is online beschikbaar via de volgende URL
www.warmteprofielengenerator.nl

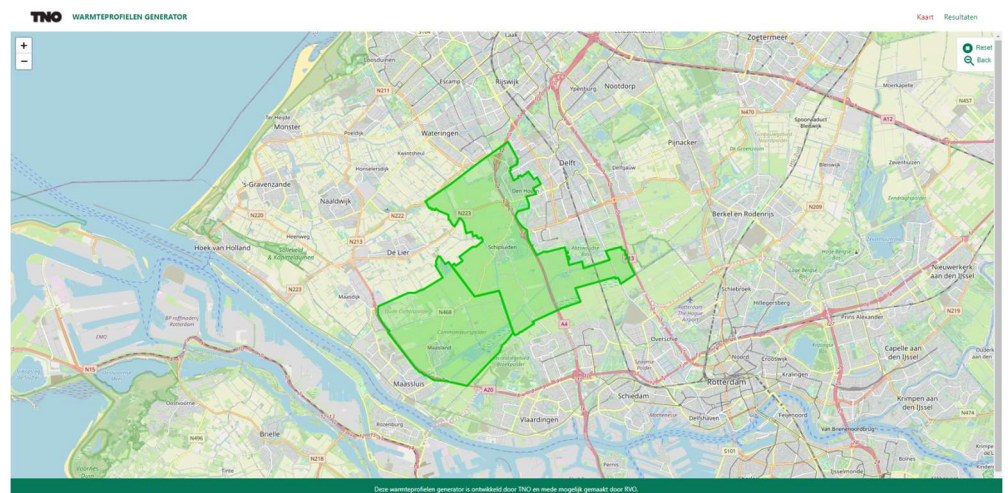
De gebruiker komt terecht op de startpagina van de warmteprofielen generator met informatie en kan rechts bovenin klikken op “Kaart” en komt dan in het scherm dat eruit ziet zoals hieronder weergegeven (Figuur 1).



Figuur 1. Openingsscherm van de warmteprofielen generator. De kaart van Nederland wordt getoond met daarop de 12 provincies.

2. Selectie van een buurt

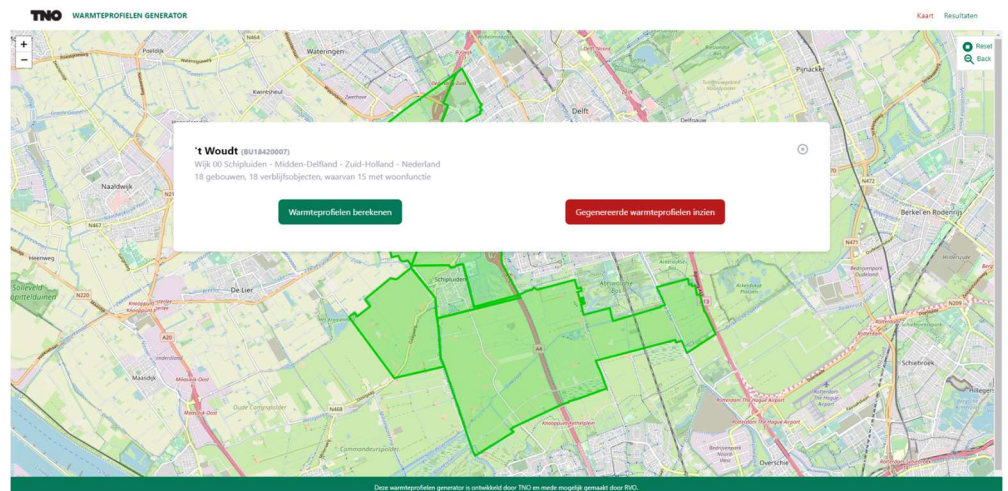
De warmteprofielengenerator genereert profielen voor buurten in de Wijk- en buurtindeling van het CBS. De gebruiker kan een buurt selecteren door steeds verder in te zoomen op de kaart, dit gebeurt door met de muis op de groene vlakken te klikken: Eerst kiest de gebruiker een provincie, daarna een gemeente, daarna een wijk en tenslotte een buurt.



Figuur 2. De gemeente Midden-Delfland met haar wijken.

3. Warmtevraag profiel berekenen

Als de gebruiker uiteindelijk op een buurt klikt verschijnt een scherm zoals weergegeven in Figuur 3. In dit geval is de buurt 't Woudt gekozen. In het scherm wordt aangegeven in welke wijk, gemeente en provincie deze buurt ligt en informatie over de panden en verblijfsobjecten die in de BAG gevonden zijn binnen deze buurt.



Figuur 3. Het starten van de berekening van de warmteprofielen

De gebruiker heeft de mogelijkheid om eerder voor deze buurt gegenereerde profielen in te zien of een nieuw profiel te berekenen. Als deze laatste optie gekozen wordt, verschijnt het volgende scherm zoals weergegeven in Figuur 4.

't Woudt (BU18420007)
Wijk 00 Schipluiden - Midden-Delfland - Zuid-Holland - Nederland
18 gebouwen, 18 verblijfsobjecten, waarvan 15 met woonfunctie

Gebruikt jaar voor klimaatinformatie *

De Bilt - 2019

Opgesteld thermisch vermogen van de verwarmingsinstallatie (kW)

15 kW

Hoe moet het systeem omgaan met niet-woningen?

☒ Laat alle niet-woningen buiten beschouwing

☐ Benader iedere niet-woning als woning

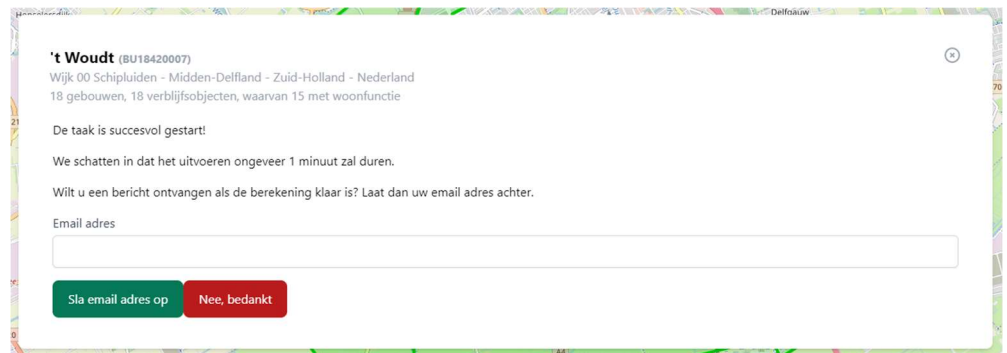
Genereer warmteprofielen voor deze buurt

Figuur 4. De invoerparameters voor de profielen generator

In deze “basis modus” dient de gebruiker drie invoerparameters te kiezen:

- Het jaar dat gebruikt wordt voor de klimaatinformatie. De standaard optie is een recent jaar zoals 2019. Maar als de gebruiker bijvoorbeeld wil kijken hoe de piekvraag eruit ziet in een koud jaar met strenge winter dan kan een ander jaar worden gekozen.
- Het aangenomen opgestelde thermisch vermogen van de verwarmingsinstallatie dat aanwezig is in de woning. Dit bepaalt hoeveel warmte er per uur maximaal aan de woning toegevoegd kan worden en is dus mede bepalend voor hoe snel/langzaam de woning opwarmt. Standaard staat er 15 kW, maar de gebruiker kan dit hier eenvoudig aanpassen. Voor een nieuwbouwwijk zal dit getal waarschijnlijk lager zijn, voor oudere woningen hoger.
- Hoe het model om moet gaan met alle niet-woningen (utiliteitsbouw, zoals kantoren, winkels, scholen etc.). Deze worden of buiten beschouwing gelaten, of beschouwd als woning en via dezelfde berekeningsmethode in het warmtevraagprofiel meegenomen. Vooralsnog wordt er dus nog geen specifiek warmtevraagprofiel berekend voor de utiliteitsbouw in de buurt. Bij het presenteren van de resultaten, is er wel de mogelijkheid om inzage te krijgen in hoeveel gebouwen buiten beschouwing gebleven zijn als die keuze is gemaakt. De bedoeling is op een later moment voor utiliteitsbouw een specifieke berekeningsmethode toe te voegen aan het rekenmodel.

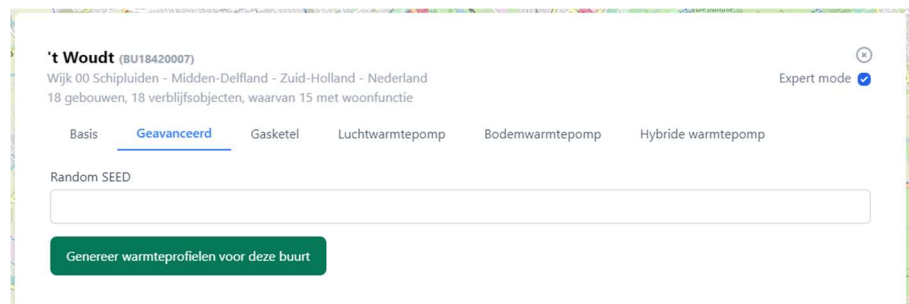
Om een warmtevraagprofiel te berekenen drukt de gebruiker op de knop “Genereer warmteprofielen voor deze buurt”. Het model start vervolgens de berekening en vraagt de gebruiker om een email-adres in te voeren waarnaar een bericht gestuurd wordt met een link naar de resultaten. Afhankelijk van het aantal berekeningen die de profielgenerator moet verwerken kunnen resultaten binnen enkele minuten klaar zijn of kan dit langer duren.



Figuur 5. De gebruiker kan een email-adres achterlaten en wordt geïnformeerd over de resultaten zodra deze gereed zijn

4. Expertmodus

Als in het scherm met de invoerparameters voor het model rechts bovenin het vinkje 'expert modus' aangezet wordt, verschijnen er verschillende extra tabbladen.



Figuur 6. Tabbladen in de expert modus

Het model kiest voor het bepalen van de setpointinformatie random uit de gegevens van de WoON dataset o.b.v. bouwjaar en woningtype.

In het tabblad 'Geavanceerd' kan een zogenaamde 'random seed'¹ ingegeven worden (bijvoorbeeld een willekeurige tekst of nummer), waarmee de gebruiker het random gedrag van het model kan beïnvloeden. Hierdoor zullen dezelfde achtereenvolgende simulatie runs telkens net iets andere uitkomsten vertonen. Als de gebruiker zelf telkens dezelfde 'random seed' ingeeft, zullen de uitkomsten iedere keer hetzelfde zijn (en daarmee zijn de resultaten reproduceerbaar). Het kunnen invoeren van een 'random seed' is een gebruikerswens waar om gevraagd is in één van de eerdere bijeenkomsten met modelleers en netbeheerders voor aanvang van dit project.

In het tabblad 'Gasketel' kan aangevinkt worden dat de gebruiker geïnteresseerd is in het genereren van gasverbruik profielen, naast de warmtevraag profielen (voor ruimteverwarming). Er wordt dan ook gerekend met een gemiddeld tapwaterprofiel per woning. De gebruiker krijgt de mogelijkheid om gehanteerde aannames over vermogens en efficiëntie voor ruimteverwarming en tapwater op te geven.

¹ Zie bijvoorbeeld: https://en.wikipedia.org/wiki/Random_seed.

't Woudt (BU18420007)
Wijk 00 Schipluiden - Midden-Deilfand - Zuid-Holland - Nederland
18 gebouwen, 18 verblijfsobjecten, waarvan 15 met woonfunctie

Expert mode

Basis Geavanceerd **Gasketel** Luchtwarmtepomp Bodemwarmtepomp Hybride warmtepomp

Generereer profielen voor een gasketel

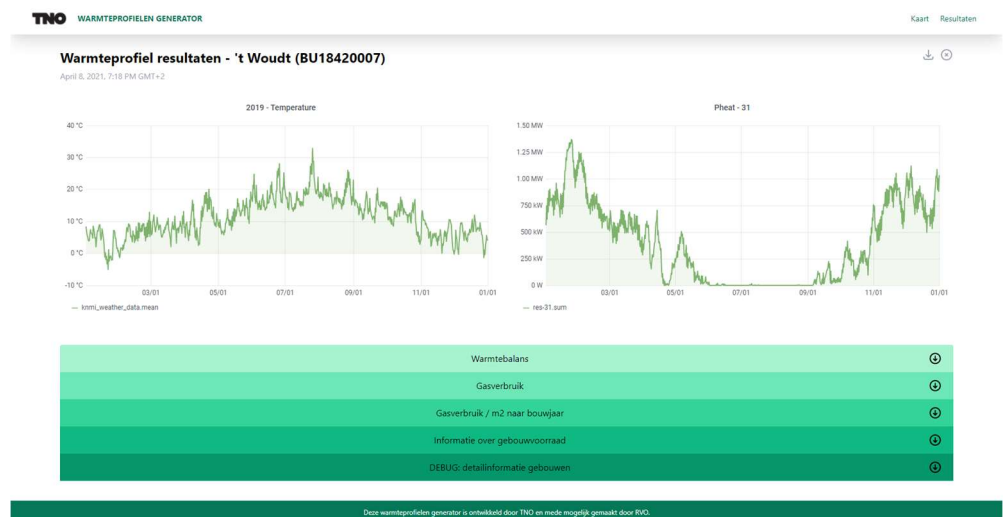
Thermisch vermogen ruimteverwarming [kWh] 15
Efficiëntie ruimteverwarming 1.04

Thermisch vermogen tapwater [kWh] 15
Efficiëntie tapwater 0.93

Generereer warmteprofielen voor deze buurt

5. Resultaten warmtevraagprofiel

Als de gebruiker op de link in de email klikt, of via het Resultaten tabblad in de profielengenerator (klik op 'Resultaten' rechts bovenin) naar z'n eigen gegenereerde profiel gaat, wordt een scherm getoond met allerlei informatie over de buurt en het voor deze buurt gegenereerde warmteprofiel.



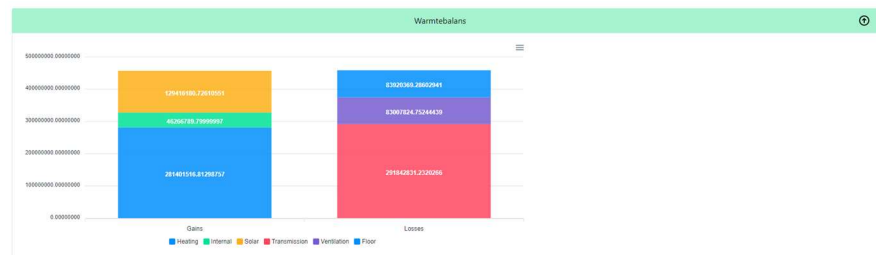
Figuur 7. De buitentemperatuur en het warmtevraagprofiel voor de gekozen buurt.

De linker grafiek toont de buitentemperatuur voor het gekozen jaar. De rechter grafiek geeft het geaggregeerde warmtevraagprofiel voor de gekozen buurt en het gekozen jaar. De download knop rechts bovenin biedt de mogelijkheid om de data te exporteren in Excel formaat.

Daarnaast zijn er een aantal secties die opengeklapt kunnen worden met meer detail informatie:

- Warmtebalans: Deze sectie geeft informatie over de totale warmtebalans voor alle woningen tezamen voor het gehele jaar. Het geeft een beeld van de grootte van de bijdrage van de verschillende componenten in de warmtebalans. De volgende componenten worden onderscheiden:
 - Heating: warmteproductie door de verwarmingsinstallatie
 - Internal: interne warmteproductie door personen en apparaten
 - Solar: warmtebijdrage door zoninstraling via de ramen
 - Transmission: warmteverliezen die optreden via de geveldelen, het dak, ramen en deuren

- Ventilation: warmteverliezen die optreden via ventilatie en infiltratie
- Floor: warmteverliezen die optreden via de vloer.



- Gasverbruik: Als in de expert modus gekozen wordt om ook gasverbruikprofielen te genereren, dan levert dit tabblad daarvan de resultaten. Het berekende warmtevraagprofiel wordt dan met de ingegeven efficiënties omgerekend naar een aardgasvraagprofiel. Hierbij wordt dan nog een warm tapwaterprofiel opgeteld. De tabel links onder de grafiek geeft de berekende jaartotalen. De tabel rechts onder de grafiek vergelijkt de uitkomsten met de door CBS gerapporteerde aardgasverbruiken uit de dataset kerncijfers wijken en buurten² voor 2019. Deze mogelijkheid is specifiek ingebouwd voor validatie van het rekenmodel.



- Informatie over gebouwvoorraad: deze sectie geeft informatie over de gebouwvoorraad. De volgende tabellen worden getoond:
 - Linksboven: verdeling van woningtypes
 - Rechtsboven: verdeling naar bouwjaarklasse
 - Linksonder: minimale, maximale en gemiddeld vloeroppervlak
 - Rechtsonder: informatie over de filtering van woningen

² Zie <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2019/31/kerncijfers-wijken-en-buurten-2019>

Informatie over gebouwvoorraad

Woning type	Number	Building year class	Number
Geen woning	0	< 1946	10
Vrijstaande woning	10	1946 - 1964	2
2 onder 1 kap	5	1965 - 1974	0
Hoekwoning	0	1975 - 1991	3
Tussenwoning	0	1992 - 2005	0
Meergezinswoning	0	2006 - 2012	0
Geen verblijfsobjecten (schuren e.d.)	0	> 2012	0

Building area info	Area (m2)	Building filtering info	Number
Minimum	78.5	nr_of_buildings_ok	15
Maximum	1441.2	nr_of_residential_building_units	15
Average	290.0	nr_of_buildings_only_residential	11
		nr_of_residential_building_units_odd_size	2
		nr_of_buildings_removed_status	0
		nr_of_buildings_removed_building_unit_status	0
		nr_of_building_units_removed	0
		nr_of_buildings_removed_non_residential	3
		nr_of_buildings_no_vbo	0
		total_nr_of_baag_buildings	18

3 Methode berekening warmtevraagprofielen

Dit hoofdstuk beschrijft de methode voor de berekening van de vraagprofielen in de tool. We bespreken verschillende elementen in de tool die van belang zijn voor de berekening van het warmtevraagprofiel:

1. Woningkenmerken
2. Gebruikersgedrag
3. Berekening warmtevraag ruimteverwarming
4. Berekening warmtevraag voor warm tapwater
5. Berekening gasvraagprofiel gasketel
6. Berekening elektriciteitsvraagprofiel warmtepompen.

3.1 Woningkenmerken

Met woningkenmerken bedoelen we het woningtype, bouwjaar, geometrie en isolatiewaarden en type ventilatiesysteem van de woningen in de buurt.

Woningtype en bouwjaar

Het woningtype wordt bepaald via de BAG. In de BAG staat informatie of een pand een woonfunctie heeft en of het pand meerdere verblijfsobjecten bevat. Daarmee kunnen we selecteren op woningen en onderscheid maken tussen eengezinswoningen en meergezinswoningen. Met een algoritme op de BAG-data wordt voor ieder pand ook onderzocht of het grenst aan andere panden (hoeveel burens het heeft), daarmee kunnen we binnen eengezinswoningen de tussenwoning, hoekwoning, 2-onder-1-kap en vrijstaande woningen onderscheiden. Het bouwjaar nemen we over uit de BAG.

Geometrie van de woning

Op basis van het woningtype en het bouwjaar wordt de geometrie van eengezinswoningen geselecteerd uit de voorbeeldwoningen bestaande bouw van RVO (update 2021). De voorbeeldwoningen bestaande bouw maken onderscheid naar woningtype en bouwjaarklassen. Uit de voorbeeldwoningen bestaande bouw wordt het verliesoppervlak bepaald van vloer, gevel en dak en het glasoppervlak. Deze is gebaseerd op gemiddelden uit het WoON onderzoek.

Voor meergezinswoningen willen we de geometrie weten van het pand en niet van de woningen afzonderlijk. Omdat de variatie in deze geometrie heel verschillend kan zijn, bepalen we deze op basis van gegevens over het pand zelf. Uit de BAG data halen we de vloeroppervlakte van het pand (de "afdruk" op de kaart). We veronderstellen dat het vloer- en dakoppervlak gelijk is aan deze afdruk op de kaart. Door de gebruiksoppervlakte van het pand te delen door dit vloeroppervlak berekenen we het aantal verdiepingen. De hoogte van het pand veronderstellen we gelijk aan het aantal verdiepingen maal een verdiepingshoogte van 3 meter. Uit de BAG data halen we ook de breedte en de diepte van het pand. Het geveloppervlak van de voor- en achtergevel is dan $2 \times \text{breedte} \times \text{hoogte}$. Het oppervlak van de zijgevel wordt berekend met $\text{diepte} \times \text{hoogte}$. Voor een vrijstaand gebouw wordt uitgegaan van warmteverlies door twee zijgevels,

voor een gebouw op een hoek van één zijgevel en voor meergezinswoningen die tussen andere gebouwen in staan, wordt het warmteverlies via de zijgevels verwaarloosd. Vervolgens nemen we aan dat 70% van het geveloppervlak gesloten gevel is en 30% glas. Die inschatting komt uit de voorbeeldwoningen RVO van 2016.

Isolatiewaarden en type ventilatiesysteem

Isolatiewaarden voor vloer, gevel, daken glas en type ventilatiesysteem zijn overgenomen uit de voorbeeldwoningen update 2021, informatie die is gebaseerd op de energiemodule uit WoON2018.

3.2 Gebruikersgedrag

Er zijn verschillende vormen van gebruikersgedrag die van belang zijn bij de berekening van de ruimteverwarmingsvraag:

1. De setpointtemperatuur
2. Het aantal ruimtes dat wordt verwarmd
3. Ventilatiegedrag.

Voor de setpointtemperatuur gebruiken we data uit de energiemodule van WoON2018. Daarin is voor een representatieve steekproef van de Nederlandse woningvoorraad in kaart gebracht op welke temperatuur mensen op verschillende momenten van de dag hun thermostaat instellen (setpointtemperatuur). Voor iedere woning in de buurt wordt random een profiel gekozen uit de dataset rekening houdend met woningtype en bouwjaar. Door dit voor verschillende woningen in de buurt te doen, wordt de spreiding nagebootst die er in werkelijkheid is. De setpointtemperatuur is afhankelijk van het type huishouden, gezinssamenstelling en gebruiksgedrag.

In de warmteverliesberekening wordt rekening gehouden met het feit dat de meeste huishoudens slechts een beperkt aantal ruimtes van hun woningen verwarmen. De warmteverliesberekening is een 1-zone model en gaat uit van de gehele woning als te verwarmen ruimte. Om te corrigeren voor het verwarmen van een beperkt aantal ruimtes wordt de setpointtemperatuur verlaagd met 3 graden in de warmteverliesberekening. Deze setpointcorrectie is in eerder onderzoek door TNO bepaald.³

Op dit moment wordt er uitgegaan van een constant debiet van de luchtstromen via ventilatie en/of infiltratie. Deze constante waarde is wel afhankelijk van het bouwjaar. Ventilatieverliezen zijn afhankelijk van het aanwezige ventilatiesysteem. Informatie over aanwezige ventilatiesysteem per bouwjaarklasse wordt gehaald uit de dataset van de RVO voorbeeldwoningen. De ventilatie en infiltratieverliezen per uur zijn verder afhankelijk van het verschil tussen de binnen- en buitentemperatuur en daarmee variabel in de tijd.

³ Frans Koene et al, 2021: Noord Holland aardgasvrij, TNO-2021-R10385.

3.3 Berekening warmtevraag ruimteverwarming

Rekenmethode

Het rekenmodel berekent van uur tot uur de warmtevraag voor ruimteverwarming (in kWh/uur) per woning in de buurt, dus het gemiddeld vermogen (in kW) dat nodig is om (in dat uur) de woning op de ingestelde temperatuur te krijgen en te houden. Afhankelijk van de isolatiegraad van de woning en het ingegeven opgestelde vermogen van de verwarmingsinstallatie kan het enkele uren duren voordat de binnentemperatuur het niveau van het ingestelde setpoint bereikt.

Het gebruikte model is een zogenaamd 1-zone model. Hierbij wordt de gehele woning als één ruimte beschouwd. Dit komt de rekentijd (en de hoeveelheid benodigde input parameters) ten goede. De uitkomsten van dit 1-zone model zijn vergeleken met een 4-zone model, waarbij onderscheid gemaakt werd tussen begane grond (met woonkamer en keuken), de hoofdslaapkamer, de badkamer en overige slaapkamers en een al dan niet verwarmde zolder. De eerder genoemde setpoint temperatuurcorrectie (die op dit moment dus 3 graden is) is m.b.v. dit 4-zone model bepaald. Op het moment dat er meer informatie beschikbaar komt over hoeveel ruimtes typisch verwarmd zijn, kan deze 3 graden verder gevarieerd worden.

Het model is dynamisch, wat inhoudt dat de warmtevraag voor ruimteverwarming van uur tot uur wordt berekend door de warmtebalans te berekenen van warmteverliezen (door transmissie en ventilatie) en de warmtewinsten (interne warmtebronnen, zoninstraling).

Daarbij wordt rekening gehouden met het feit dat in de woning warmte wordt opgeslagen in de muren, vloeren en plafonds. Uit eerdere onderzoeksprojecten is gebleken dat het zin heeft de warmtecapaciteit van de woning op te splitsen in een binnendeel en een buitendeel. Het binnendeel (de thermische massa van de binnenste ca. 2 cm van muren, vloer en plafond), wisselt vrij gemakkelijk warmte uit met de lucht in de woning. Het buitenste deel van de gebouwmassa wisselt warmte uit met het binnendeel en met de buitenlucht. Op dit moment is het model zo ingesteld dat de binnenste deel 22% van de totale warmtecapaciteit representeert.

Het binnenste deel van de warmtecapaciteit is afhankelijk van het gebouwvolume en wordt met de volgende empirisch bepaalde formule berekend:

Warmtecapaciteit binnenste gebouwschil [MJ/K] = $0.0784 \cdot \text{volume [m}^3\text{]} + 1.97$.

Als de verliezen groter zijn dan de winsten, zal de woning afkoelen. Indien de binnentemperatuur onder de ingestelde setpoint temperatuur komt, moet de verwarming bijspringen om de woning op de ingestelde temperatuur te brengen. Dat betekent bijvoorbeeld dat als de thermostaat 's avonds omlaag wordt gedraaid van 20°C naar bijvoorbeeld 16°C, de temperatuur in de woning tot 16°C mag zakken, voor de verwarming weer aanspringt.

Als de warmtewinsten groter zijn dan de warmteverliezen (zoals in de zomer vaak het geval is), dan zal de temperatuur van de woning stijgen. Zolang de binnentemperatuur hoger is dan de ingestelde setpoint temperatuur, gaat de verwarming niet aan. Het model is beschreven in een conferentiepaper⁴.

Warmteverliezen

Transmissieverliezen door de buitenschil zijn evenredig met het temperatuurverschil tussen binnen en buiten en afhankelijk van de isolatiewaarden. Bij het berekenen van deze transmissieverliezen wordt telkens eerst de U-waarde van het schil-deel vermenigvuldigd met het oppervlak van het schildeel en dit getal wordt vervolgens ieder uur vermenigvuldigd met het temperatuurverschil tussen buiten en binnen.

Transmissieverliezen door de vloer zijn evenredig met het verschil tussen de binnentemperatuur en de temperatuur van de kruipruimte. Voor de temperatuur van de kruipruimte onder de woning is een vaste waarde van 12°C genomen.⁵

Infiltratieverliezen (o.a. door kieren tussen geveldelen) worden berekend op basis van een formule die afhankelijk is van het bouwjaar. Allereerst wordt de luchtvolumestroom per m² vloeroppervlak bepaald bij een drukverschil van 10 Pascal (de zogenaamde qv10 waarde) met de volgende formule:

bouwjaar	qv10 (in dm³/s/m²)
<= 1967	4
> 1967	$0.3 + 3.7 \exp \left(\frac{1967 - \text{bouwjaar}}{16} \right)$

Deze qv10 waarde wordt vermenigvuldigd met de oppervlakte van het verblijfsobject en omgerekend naar een qv1 waarde via $qv1 = qv10 / (10 \wedge 0.7)$. Afhankelijk van de aanwezigheid van het ventilatiesysteem wordt hier 100 m³/uur bij opgeteld. Tenslotte worden de ventilatie en infiltratie verliezen op ieder uur berekend door te vermenigvuldigen met de warmtecapaciteit van lucht (1230 J/m³K) en de delta T (het verschil tussen buiten en binnentemperatuur op dat moment).

(F. Koene, TNO, 2021)⁶

Warmtewinsten

Er wordt gerekend met drie verschillende bronnen van warmte in de woning. Allereerst de bijdrage van aanwezige personen en apparaten, vervolgens de bijdrage van de zoninstraling en tenslotte de bijdrage van de verwarmingsinstallatie.

De warmte van aanwezige personen en apparaten is ingeschat op basis van 100 W per persoon en het elektriciteitsverbruik in de woning exclusief

⁴: F.G.H. Koene et al., Simplified building model of districts, conference proceedings of BauSim, Aachen, 22-25 Sept 2014.

⁵ Als het een appartement boven een winkelplint betreft is dit niet juist. Mogelijk kan dat in toekomstige modelverbeteringen worden opgelost.

⁶ Frans Koene et al, 2021: Noord Holland aardgasvrij, TNO-2021-R10385.

dat van de wasmachine, vaatwasser en wasdroger waarvan de warmte wordt afgevoerd. De warmte van personen en apparatuur is omgerekend naar een gemiddelde waarde van 5 W/m^2 die als een constante waarde in het rekenmodel is ingevoerd.

Voor de bijdrage van de zoninstraling is een model geïmplementeerd die de zoninstraling op een verticaal vlak op een onbewolkte dag berekend. De zoninstraling wordt berekend in drie delen:

- directe straling
- diffuse straling
- reflectie via de grond.

Dit model is beschreven door de TU Delft faculteit bouwkunde en civiele techniek en onder andere te vinden via deze links⁷. Met dit model is het mogelijk om op basis van de plek op aarde, de oriëntatie van de gevel, de dag van het jaar en het uur van de dag de zoninstraling op een onbewolkte dag te berekenen.

De aanwezigheid van bewolking beïnvloedt de intensiteit van de zoninstraling. De directe straling neemt af en de diffuse straling neemt juist toe. Als eerste benadering hebben we o.b.v. de KNMI data voor zoninstraling de verhouding bepaald tussen de zoninstraling op een horizontaal vlak (dat is het enige dat aanwezig is in de KNMI data) voor een volledig onbewolkt moment en een volledig bewolkt moment. De zoninstraling blijkt ongeveer 50% lager te zijn als het volledig bewolkt is. We nemen hier aan:

- dat de zoninstraling op een verticaal vlak ook met 50% af zal nemen op een bewolkte dag
- dat de afname van de zoninstraling lineair verloopt tussen volledig bewolkt en volledig onbewolkt.

Op dit moment is het nog niet makkelijk mogelijk om op basis van openbare data te bepalen in welke gevels de ramen aanwezig zijn en welke oriëntatie ze hebben. In de rapportage over de onderzoeksverantwoording behorende bij de RVO voorbeeldwoningen uit 2011⁸, is te vinden dat de meest neutrale keuze is om aan te nemen dat alle beglazing oriëntatie oost/west heeft. In de huidige implementatie van dit model is dit overgenomen. Het aanwezige glasoppervlak wordt evenredig verdeeld tussen oost en west. Er wordt nog geen rekening gehouden met aanwezige dakramen in schuine of platte daken. Het zoninstralingsmodel kan ook rekenen aan de zonintensiteit op "gekantelde" geveldelen. Als er in de toekomst meer informatie over de 3D geometrie in het model ingebouwd wordt, kan hier ook rekening mee gehouden worden.

⁷ http://wiki.bk.tudelft.nl/bk-wiki/Zon_bouwfysica en https://klimapedia.nl/wp-content/uploads/2013/06/W-9_zonnestraling_en_zonstralingsgegevens.pdf

⁸ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/5.%20Voorbeeldwoningen%202011%20Onderzoeksverantwoording.pdf>

3.4 Temperatuurberekening en verwarmingsbehoefte

Als de verschillende onderdelen voor de warmtewinsten en -verliezen berekend zijn, vindt de berekening van de temperaturen plaats. Dit gebeurt in eerste instantie zonder ervan uit te gaan dat de verwarmingsinstallatie aanstaat (zie formule 1). De berekende binnentemperatuur wordt vervolgens vergeleken met de setpoint temperatuur om te bepalen of de verwarmingsinstallatie dat uur aan moet staan, en hoeveel warmte deze moet produceren om het setpoint te behouden of bereiken (zie formule 2). Hierbij is het ingegeven opgestelde vermogen bepalend voor hoeveel warmte er maximaal geproduceerd kan worden in een uur. Vervolgens wordt de binnentemperatuur een uur later ($t+1$) berekend aan het binnenste deel van de gebouwschil (zie formule 3) en aan het buitenste deel van de gebouwschil (zie formule 4). Vervolgens begint de berekening weer overnieuw voor het volgende uur.

De volgende formules worden gehanteerd:

$$1. \quad Twin_no_heating(t+1) = Twin(t) + (P_{int} + P_{sol} - P_{vent} - P_{exch}) * 3600 / C_{win}$$

Hierin is:

$Twin_no_heating(t+1)$	De binnentemperatuur na 1 uur als er geen warmte wordt toegevoegd door de verwarmingsinstallatie
$Twin(t)$	De huidige binnentemperatuur
P_{int}	De warmte geproduceerd door personen en apparaten
P_{sol}	De warmte van de zon die via de ramen de woning in komt
P_{vent}	Het warmteverlies door ventilatie en infiltratie
P_{exch}	De warmte uitwisseling tussen de binnenschil en de buitenschil

$$2. \quad \text{Als } Twin_no_heating(t+1) < T_{setpoint} \text{ dan} \\ P_{heat} = \text{minimum} ((T_{setpoint} - Twin_no_heating(t+1)) / 3600 * C_{win}, P_{heating_installation}) \text{ en anders } P_{heat} = 0$$

3. Hierin is:

$Twin_no_heating(t+1)$	De binnentemperatuur na 1 uur als er geen warmte wordt toegevoegd door de verwarmingsinstallatie
$T_{setpoint}$	De ingestelde setpointtemperatuur
P_{heat}	De warmte geproduceerd door de verwarmingsinstallatie
C_{win}	De warmtecapaciteit van het binnenste deel van de gebouwschil
$P_{heating_installation}$	Het opgestelde vermogen van de verwarmingsinstallatie

$$4. \quad T_{\text{win}}(t+1) = T_{\text{win_no_heating}}(t+1) + P_{\text{heat}} * 3600 / C_{\text{win}}$$

Hierin is:

$T_{\text{win}}(t+1)$	De temperatuur van het binnenste deel van de gebouwschil na 1 uur
$T_{\text{win_no_heating}}(t+1)$	De temperatuur van het binnenste deel van de gebouwschil na 1 uur als er geen warmte wordt toegevoegd door de verwarmingsinstallatie
P_{heat}	De warmte geproduceerd door de verwarmingsinstallatie
C_{win}	De warmtecapaciteit van het binnenste deel van de gebouwschil

$$5. \quad T_{\text{wout}}(t+1) = T_{\text{wout}}(t) - (P_{\text{exch}} + P_{\text{vloer}} + P_{\text{transm}}) * 3600 / C_{\text{wout}}$$

Hierin is:

$T_{\text{wout}}(t+1)$	De temperatuur van het buitenste deel van de gebouwschil na 1 uur
$T_{\text{wout}}(t)$	De huidige temperatuur van het buitenste deel van de gebouwschil
P_{exch}	De warmte uitwisseling tussen de buitenschil en de binnenschil
P_{vloer}	Het warmteverlies via de vloer
P_{transm}	Het warmteverlies via gevels, dak, ramen en deuren

3.5 Berekening warmtevraag warm tapwater

In het model wordt gerekend met een gemiddeld warm tapwaterprofiel voor iedere woning in de buurt. De totale tapwatervraag is ingeschat op basis van HOME onderzoek (ECN, 2009)⁹ en bedraagt 300 m³ (3000 kWh) per jaar. De verdeling van de tapwatervraag is overgenomen uit een rapportage over veldtesten op basis van metingen in de praktijk (EnergyMatters, 2014). Mogelijk is het gasverbruik voor warm tapwaterbereiding verder gedaald door het toenemend bezit van vaatwassers, een beter tapwater rendement van HR-ketels en minder personen per huishouden waardoor douches en baden minder vaak worden gebruikt (zie verder de verbeterpunten genoemd in Hoofdstuk 5).

3.6 Berekening gasvraagprofiel gasketels

Het model geeft de mogelijkheid om een gasvraagprofiel van de gasketel te berekenen. De gebruiker kan hiervoor de aannames voor opgesteld vermogen en efficiëntie voor zowel de ruimteverwarmingsvraag als de

⁹ ECN, 2009: Gasverbruik voor warm tapwater en koken. Analyse t.b.v. formules in HOME, vertrouwelijk rapport ECN, ECN-X--09-107.

warmtapwatervraag opgeven. De default waarden komen uit de veldtesten van RVO (EnergyMatters, 2014)¹⁰.

3.7 Berekening elektriciteitsvraagprofiel warmtepompen

Het model geeft ook de mogelijkheid het elektriciteitsvraagprofiel van warmtepompen te berekenen. Daarbij kan de gebruiker de aannames voor het warmtepompvermogen voor ruimteverwarming en warmtapwater en het rendement afhankelijk van de buitentemperatuur ingeven. Op dit moment is alleen de lucht-water warmtepomp geïmplementeerd. Andere typen warmtepompen kunnen in de toekomst toegevoegd worden.

De default waarde voor de efficiency curve van een warmtepomp is gebaseerd op metingen van het Heat Pump Test Center WPZ in Buchs Zwitserland (NBT, 2015) bij verschillende brontemperaturen en aanvoertemperaturen van het CV systeem van de woning.

Het afgiftesysteem wordt niet gemodelleerd. Het rekenmodel gaat ervan uit dat het afgiftesysteem in staat is de warmte aan de woning te leveren. Een lage temperatuursysteem kan nodig zijn om een warmtepomp met een bepaalde efficiency te laten werken,

¹⁰ Energy Matters, 2014: Eindrapportage veldtesten, Energieprestaties van 5 warmtetechnieken bij woningen in de praktijk: [Praktijkprestaties-van-warmtetechnieken-bij-huishoudens.pdf](https://www.lente-akkoord.nl/documenten/rapporten/2014/07/01/energieprestaties-van-5-warmtetechnieken-bij-woningen-in-de-praktijk) ([lente-akkoord.nl](https://www.lente-akkoord.nl))

4 Validatie van het rekenmodel

Het is in de praktijk redelijk lastig gebleken om op basis van openbare informatie nauwkeurige warmteprofielen te berekenen. Dit heeft een aantal redenen:

- Gebruikersgedrag heeft grote invloed op de verwarmingsvraag en deze is grotendeels onbekend
- Er is geen accurate informatie beschikbaar over de daadwerkelijke isolatiegraad van de woningen
- Er is geen accurate informatie over het daadwerkelijk aanwezige glasoppervlak in de woningen
- Er is gerekend met de status van BAG van 1-1-2021 terwijl het jaar 2019 doorgerekend wordt.

Ook worden er natuurlijk allerlei aannames gedaan en is het model per definitie een vereenvoudiging van de werkelijkheid. Om de nauwkeurigheid van de modelberekeningen te bepalen zijn de modeluitkomsten voor een aantal buurten vergeleken met het door het CBS gerapporteerde daadwerkelijke jaarlijkse gasverbruik. Gemeten data over de daadwerkelijke uurlijkse warmtevraag of gasverbruik van een wijk zijn nog niet beschikbaar en nog niet gebruikt voor validatie. In de toekomst is dat wel wenselijk voor verdere verbetering van het rekenmodel (zie ook Hoofdstuk 5).

4.1 Validatie gasvraag

De berekende warmtevraag is gevalideerd door deze met een rendement van 104% (op onderwaarde aardgas) om te rekenen naar een gasvraag voor ruimteverwarming, de gasvraag voor warm tapwater erbij op te tellen en te vergelijken met data over het gasverbruik uit de CBS data wijken en buurten 2019 (CBS, 2020).

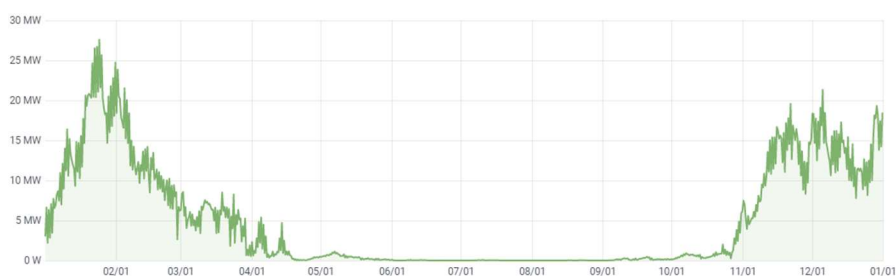
Zie hieronder een tabel met de uitkomst voor een aantal buurten in Nederland:

Gemeente	Buurt	Woningen	Aantal	Model	CBS	Relatief
Delft	Centrum-Oost	Rijwoningen, voor 1946	1166	1807453	1305920	138%
Den Haag	Rietbuurt	Vnl. rijwoningen, 2006-2012	902	533874	902000	59%
Utrecht	Vleuterweide-Zuid	Vnl. rijwoningen, 1992 - 2012	1564	990001	1610920	61%
Ameland	Ballum	Vnl. vrijstaand, zowel oud als nieuw	177	346445	293820	118%
Nijverdal	De Hófte	Vnl. 2-onder-1-kap, rijwoningen, 1975-1991	418	463465	627000	74%
Eindhoven	Schrijversbuurt	Vnl. rijwoningen, voor 1964	1592	2480079	2356160	105%

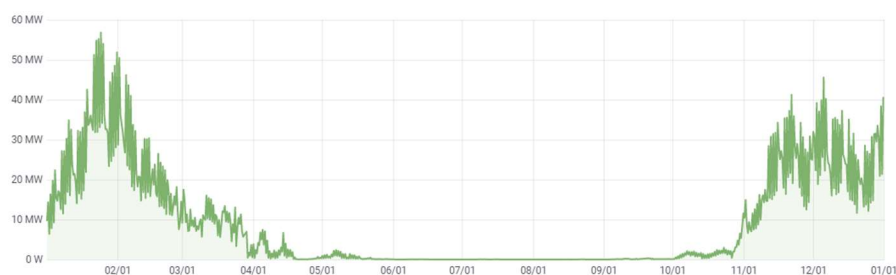
Deze tabel laat zien dat de warmtevraag voor oudere woningen (waarvoor we een slechtere energetische kwaliteit aannemen) overschat wordt en voor jongere woningen onderschat. De eerste verbeteroptie die in Hoofdstuk 5 beschreven wordt, zou dit mogelijk deels kunnen verhelpen. Gedrag zou daarnaast ook nog een rol kunnen spelen.

4.2 Gegeneerde profielen

Om een idee te geven van de gegenereerde profielen geven we hieronder voor drie verschillende buurten uit de tabel hierboven de profielen weer in een grafiek. De bovenste twee profielen zijn voor relatief nieuwe woningen. Het onderste profiel voor oudere woningen. In dit laatste profiel is o.a. zichtbaar dat de warmtevraag in de tussenseizoenen veel groter is dan bij nieuwbouw.



Figuur 8. Warmtevraag profiel voor buurt Den Haag – Rietbuurt



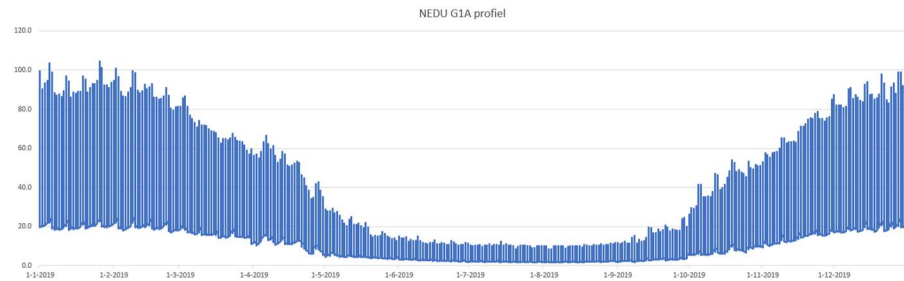
Figuur 9. Warmtevraag profiel voor buurt Vleuterweide-Zuid - Utrecht



Figuur 10. Warmtevraag profiel voor buurt Schrijversbuurt – Eindhoven

Tot nu toe wordt in modelberekeningen voor de warmtevraagprofielen heel vaak gebruik gemaakt van het NEDU G1A profiel voor het spreiden van een bepaalde totale gasvraag voor woningen op uurbasis (zie Figuur 11 voor het verloop van dat profiel). De NEDU gasprofielen worden jaarlijks door de EDSN (Energie Data Services Nederland) opgesteld en worden gebruikt in de verrekening van verbruiken tussen de gasleveranciers en regionale netbeheerder. Dit profiel dient dus een totaal ander doel. Het G1A profiel geeft een verdeling over het jaar voor het gasverbruik van panden met

gasmeters G6 of kleiner en een jaarverbruik tot 5000 m³ gas¹¹. Hierdoor vallen binnen dit profiel dus niet alleen woningen, maar ook de kleinere bedrijven. Het valt meteen op dat dit profiel een significant ander verloop kent dan de gegenereerde profielen met de warmteprofielengenerator.

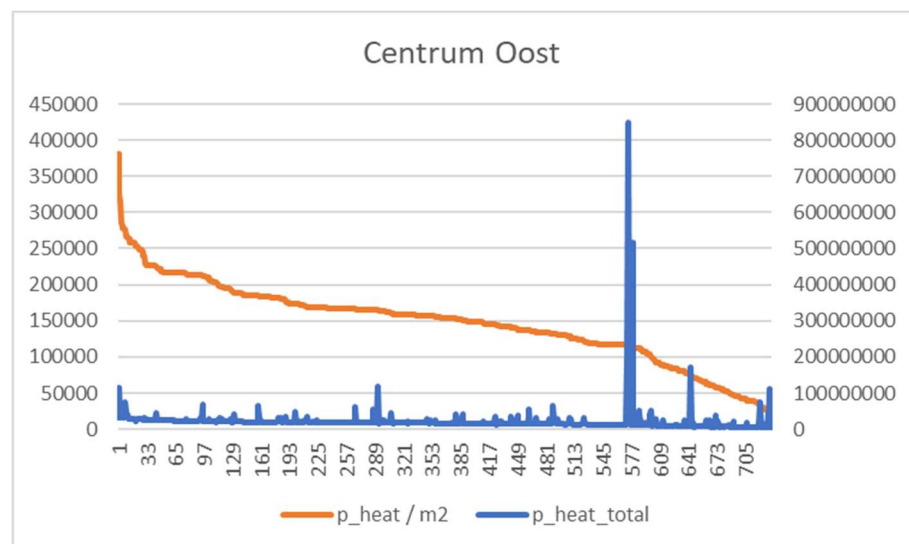


Figuur 11. NEDU G1A profiel voor het jaar 2019

4.3 Delft – Centrum Oost

De buurt Centrum-Oost in Delft heeft een relatief grote afwijking ten opzichte van het gemeten verbruik. Dit is een buurt met veel woningen van voor 1900. Om te bepalen wat er hier gebeurt, is er verder onderzoek verricht.

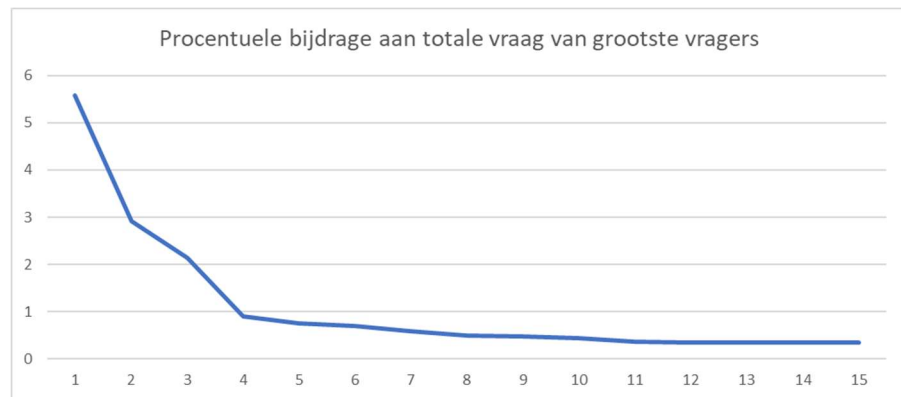
Hieronder is een grafiek weergegeven met daarin twee parameters; de blauwe grafiek geeft de totale warmtevraag per gebouw weer en de oranje grafiek de warmtevraag per m² gebruiksoppervlak. De uitschieters in de blauwe grafiek met een hoog warmteverbruik per gebouw hebben een relatief laag verbruik per m².



Figuur 12. Totale warmtevraag per gebouw (blauw) en warmtevraag per m² (oranje) in Delft Centrum Oost

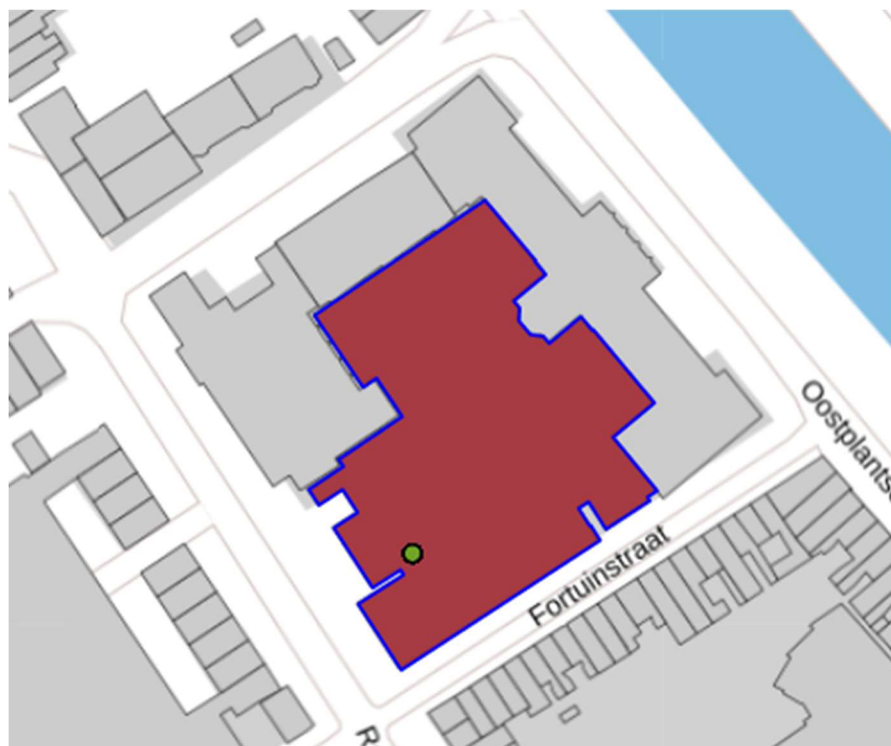
¹¹ <https://www.3nergie.nl/blog/verbruiksprofielen-elektra-gas/>

Als je de 15 panden bekijkt die de grootste verbruikers zijn en bekijkt welk aandeel die hebben in de totale warmtevraag van de buurt, ziet de grafiek er zo uit.

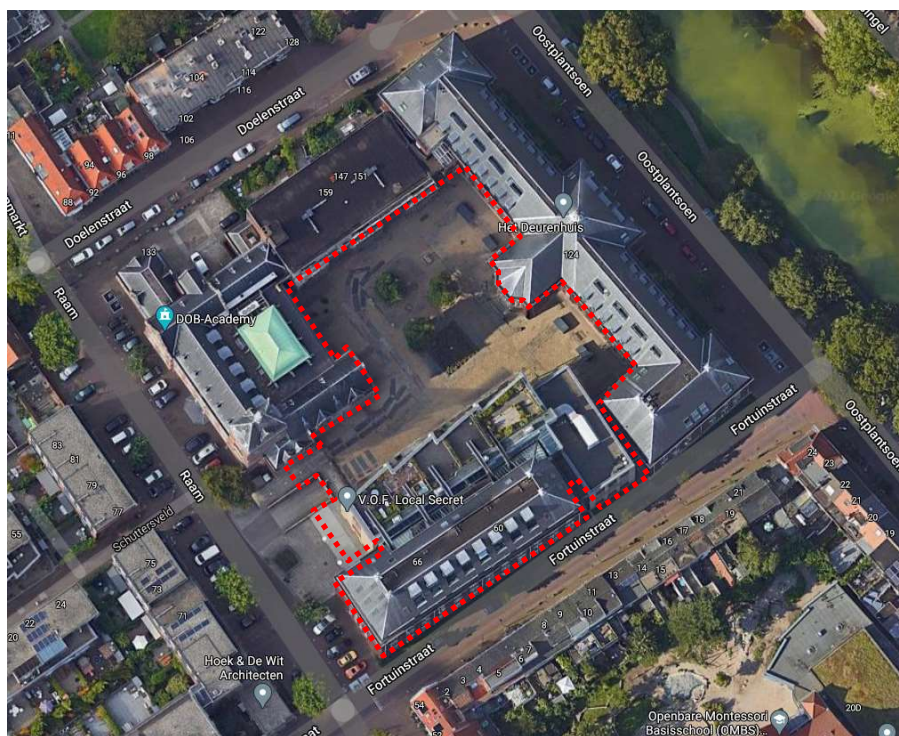


Figuur 13. Aandeel in totale warmtevraag van 15 gebouwen met meeste warmtevraag Delft Centrum Oost

De drie grootste panden dragen samen net iets meer dan 10% bij aan de totale warmtevraag. De grootste verbruiker (volgens het model) is de voormalige bibliotheek van de TU Delft, die omgebouwd is tot appartementencomplex. In Figuur 14 staat de BAG pandstempel weergegeven en in Figuur 15 staat de weergave van het pand zoals bekeken via Google Satellite. Het betreft hier een pand waar een groot deel van de pandstempel in de BAG de binnenplaats betreft. Onder deze gebouwen bevindt zich een ondergrondse parkeergarage. Dit zijn lastige panden om goede berekeningen voor te maken. De één-na-grootste verbruiker is het pand aan het water in hetzelfde complex.



Figuur 14. BAG pandstempel gebouw grootste warmtevraag in Delft - Centrum Oost

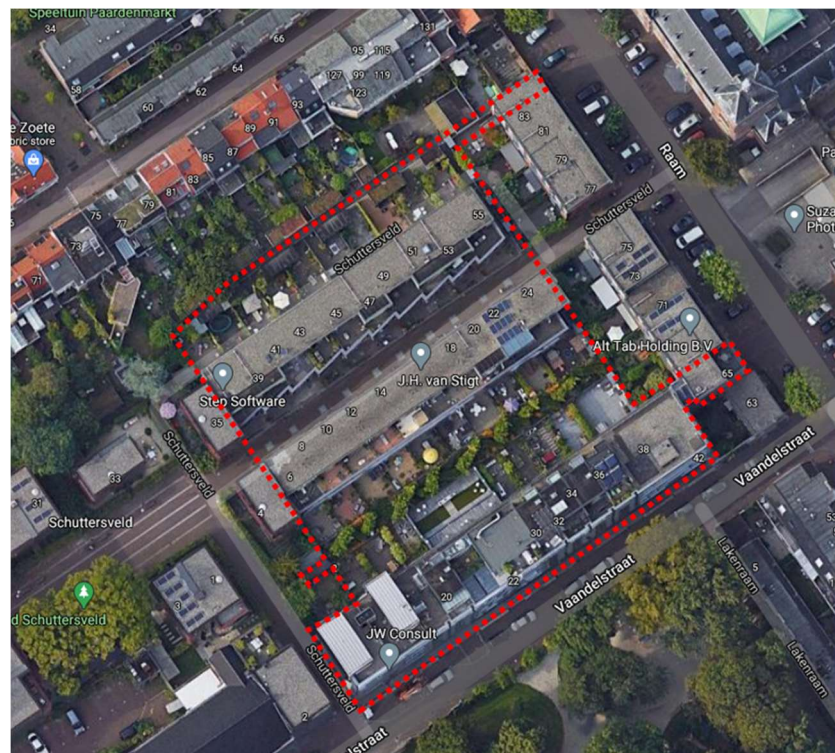


Figuur 15. Google Satellite beeld van gebouw met grootste warmtevraag in Delft - Centrum Oost

Een andere grote vrager (nr. 5 op de lijst) betreft ook weer een groep woningen die boven een ondergrondse parkeergarage gebouwd zijn.



Figuur 16. BAG pand stempel van 3 blokken rijwoningen met ondergrondse parkeergarage (de 4 na grootste vrager in Delft Centrum - Oost)



Figuur 17. Google satelliet beeld van de 4 na grootste vrager in Delft - Centrum Oost

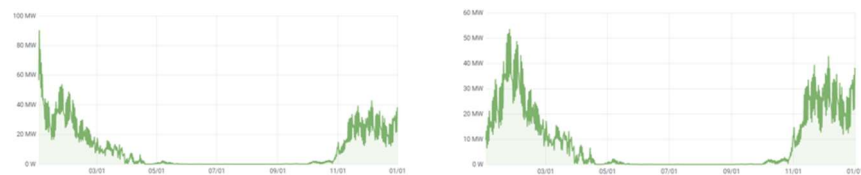
De conclusie is dus dat de berekeningen fout gaan wanneer in de BAG de pandstempel bepaald wordt door een ondergrondse parkeergarage.

Op basis van deze twee panden kan nog niet verklaard worden waarom de warmtevraag 38% te hoog ingeschat wordt. Er zullen mogelijk wel meer van dit soort afwijkingen aanwezig zijn, maar het is niet haalbaar om gebouw

voor gebouw te controleren. Dat is ook niet zinvol, want Figuur 13 laat zien dat er niet veel gebouwen zijn die meer dan enkele tienden van een procent bijdragen aan de warmtevraag. Alleen de grootste drie verbruikers dragen meer dan 1 procent bij aan de totale warmtevraag voor de buurt. Een mogelijke verklaring voor de te hoge inschatting van de warmtevraag kan zijn dat de standaard verliesoppervlakken uit de voorbeeldwoningen te veel afwijken van de daadwerkelijke verliesoppervlakken. Dit kan alleen verholpen worden door de gebouw geometrieën nauwkeuriger te bepalen.

4.4 Initialisatie van model parameters

Het model heeft een aantal parameters die bij aanvang een initiële waarde krijgen. De initiële temperatuur van de buitenste schil van de gebouwen blijkt een bepalende parameter voor het inschatten van de warmtevraag voor de eerste paar dagen van de simulatieperiode. Als deze buitenste gebouwschil gedigitaliseerd wordt op de buitentemperatuur dan ontstaat het de linker grafiek in Figuur 18 en als de setpoint temperatuur (de binnentemperatuur dus) gebruikt wordt ontstaat het rechter plaatje. De verschillen zitten alleen in het eerste deel van de maand (De grafieken zijn voor de rest van het jaar praktisch identiek; let op de schaal van de y-as, deze is verschillend in beide grafieken). De totale warmtevraag op jaarbasis blijkt 7% lager (alleen door deze aanpassing).



Figuur 18. Verschil in uitkomsten van het model door verschillende start temperatuur voor de buitenste schil van de gebouwen

Deze verschillen zullen anders zijn voor beter of slechter geïsoleerde woningen. Het verdient aanbeveling om in de toekomst dit opstart-verschijnsel verder te onderzoeken. Mogelijk is het een oplossing om het model al één of twee weken eerder te laten starten (en dus de laatste twee weken van december van het jaar ervoor mee te simuleren).

5 Mogelijkheden verdere modelontwikkeling

Deze rapportage is gemaakt bij de eerste versie van het model voor de berekening van warmtevraagprofielen van buurten.

TNO ziet verschillende mogelijkheden voor verdere ontwikkeling van het model. Deze worden in dit hoofdstuk beschreven. De doorontwikkeling van het model door TNO is afhankelijk van de beschikbare financiering en samenwerking met gebruikers van de tool.

Setpoint correctie voor gedeeltelijk verwarmen woningen

Op dit moment wordt er een vaste correctie toegepast van -3 graden op de setpoint temperatuur om te compenseren voor het feit dat in heel veel woningen de woning niet geheel verwarmd wordt, maar slechts enkele ruimtes. Dit is de gemiddelde waarde die genomen is uit data voor verschillende niveaus van isolatiewaarden en verschillende percentages van de woning die verwarmd worden en de toe te passen setpoint correctie. Indien informatie bekend is over welk deel van de woning (typisch) verwarmd wordt, kan hier veel nauwkeuriger mee gerekend worden.

Werkelijke geometrie woningen

In het rekenmodel wordt voor eengezinswoningen gerekend met de geometrie van de voorbeeldwoningen bestaande bouw. Om de daadwerkelijke geometrie van woningen mee te nemen in de berekening moet deze verkregen worden uit bestaande openbare data zoals de BAG en Actueel Hoogtebestand Nederland.

Spreiding in setpoint temperaturen

De tijdvakken waarvoor de setpoint temperaturen uitgevraagd zijn in het WoON onderzoek (blokken van 3 uur) zorgen ervoor dat alle woningen op hetzelfde moment omschakelen van setpoint temperatuur. Dit zorgt voor pieken in het vraagprofiel op deze omschakelmomenten, die er in werkelijkheid minder zullen zijn. Dit kan in de toekomst verbeterd worden. Het is bijvoorbeeld mogelijk om deze profielen willekeurig een uur naar voren of naar achteren te schuiven, waardoor er meer spreiding ontstaat.

Gedetailleerder model thermostaat

Op dit moment gaat het model ervan uit dat de verwarmingsinstallatie begint met verwarmen op het moment dat het setpoint verandert. In werkelijkheid zijn heel veel thermostaten zelflerend en beginnen deze eerder met verwarmen zodat de woning op temperatuur is op het moment dat de setpointinstelling verandert. Dit zou mogelijk op termijn verbeterd kunnen worden, maar dan dient er vermoedelijk ook gedetailleerdere informatie over de setpoint instellingen te zijn (blokken van 3 uur is dan te grof).

Opgesteld vermogen verwarmingsinstallatie

Binnen dit project is er slechts een begin gemaakt met het modelleren van de verwarmingsinstallaties zelf (de initiële focus lag op het benaderen van de warmtevraag). Op dit moment gaat het model dus nog uit van eenzelfde

verwarmingsinstallatie (met hetzelfde opgestelde vermogen) in alle woningen. Als er meer gegevens zijn over welk opgesteld vermogen er in welk type woning aanwezig is, zou dit in de toekomst verbeterd kunnen worden en voor nauwkeurigere resultaten kunnen zorgen.

Toevoegen utiliteitsbouw

In het rekenmodel wordt alleen het warmtevraagprofiel van de woningen in de buurt berekend. Om ook utiliteitsbouw mee te nemen moeten de uitgangspunten voor de warmteverliesberekening voor verschillende typen gebouwen worden bepaald: gebouwkenmerken en gebruiksgedrag.

Inschatting en spreiding van tapwaterverbruik

In het rekenmodel wordt gerekend met een gemiddeld tapwaterprofiel dat voor iedere woning gelijk is. Om de spreiding in tapwaterverbruik mee te kunnen nemen, moet aan het model een dataset over tapwaterverbruik worden toegevoegd of een model dat een betere inschatting maakt van tapwaterverbruiksprofielen voor verschillende woningtypen.

Validatie met gemeten uurlijkse waarden warmtevraag of gasverbruik

Door de uitkomsten van het rekenmodel te vergelijken met gemeten data van het uurlijkse patroon van warmteverbruik of gasverbruik in een wijk zouden we het rekenmodel mogelijk verder kunnen verbeteren.

Koudevraag

Het berekenen van de koudevraag is op een vergelijkbare manier te implementeren. Hoeveel koude moet er toegevoegd worden om een gebouw af te koelen naar een gewenst koel setpoint?

Meer types verwarmingsinstallaties

Op dit moment wordt de gasketel en lucht-waterwarmtepomp ondersteund. In de toekomst kunnen andere soorten verwarmingsinstallaties toegevoegd worden. Te denken valt dan aan andere typen warmtepompen zoals bodem warmtepompen met een open of gesloten systeem en brandstofcellen.

CBS informatie over bewoners, gezinssamenstelling, leeftijden

Het CBS publiceert voor alle buurten allerlei informatie over de bewoners die gebruikt kan worden in het beter schatten van wanneer en hoe hoog de verwarming aanstaat. In de toekomst kunnen we mogelijk meer van deze informatie kunnen gebruiken voor het inschatten van het gedrag van bewoners in relatie tot de warmtevraag.

Warmteproductie door personen en apparaten

Er is nu een gemiddelde waarde aangenomen voor de warmteproductie door personen en apparaten. Zeker als utiliteit meegenomen gaat worden, loont het om dit dynamisch te maken en kengetallen voor aanwezige aantallen mensen per utiliteitstype te gaan hanteren.

Initialisatie van model

Uit de laatste figuur uit het vorige hoofdstuk (Figuur 18) kan geconcludeerd worden dat het noodzakelijk is om verder te onderzoeken hoe de initialisatie van de modelparameters verbeterd kan worden. Mogelijk is eerder starten met de simulatie een eenvoudige oplossing.

Detaillering ventilatie- en infiltratieverliezen

Voor het verder verbeteren van de inschatting van de ventilatie- en infiltratieverliezen, is verschillende extra informatie nodig. Voor de ventilatie betreft dit informatie over hoe vaak de ventilatie aanstaat (afzuiging in toilet, badkamer, keuken of CO₂-gestuurde ventilatie op basis van aanwezigheid personen). Voor infiltratie betreft dit informatie over windrichting, windsterkte, geveloriëntatie en aanwezigheid van gebouwen in de omgeving. Eigenlijk kan dit laatste alleen gebeuren als er een gedetailleerder 3D-model van de gebouwen binnen het model beschikbaar komt. Deze verbeteringen zijn enerzijds niet het meest bepalend voor de uitkomsten, en anderzijds redelijk complex om te implementeren. Er is dus geen noodzaak om dit onderwerp op korte termijn op te pakken.