



CO₂-footprint Aardehuizen Olst

Een gemiddeld aardehuis vergeleken
met een typische nieuwbouwwoning



Committed to the Environment

CO₂-footprint Aardehuizen Olst

Een gemiddeld aardehuis vergeleken met een typische nieuwbouwwoning

Dit rapport is geschreven door:
Thijs Scholten, Sjoerd van der Niet

Delft, CE Delft, februari 2020

Publicatienummer: 20.3K84.022

Woningbouw / Nieuwbouw / Duurzaam wonen / Kooldioxide
VT: Voetafdruk

Opdrachtgever: Vereniging Aardehuis Olst

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Thijs Scholten (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N° 764056.

Inhoud

1	Samenvatting	3
2	Introductie	4
	2.1 Aardehuizen Olst	4
	2.2 PROSEU-project	4
	2.3 Leeswijzer	5
3	Energiegebruik en energie-besparingsopties aardehuizen	6
	3.1 Aanpak	6
	3.2 Energiegebruik	6
	3.3 CO ₂ -emissies	8
	3.4 CO ₂ -emissies versus energiegebruik	10
	3.5 Best practices	12
4	CO ₂ -footprint gemiddeld aardehuis en typische nieuwbouwwoning	13
	4.1 Aanpak	13
	4.2 Gemiddeld aardehuis	14
	4.3 Vergelijkbare typische nieuwbouwwoning	14
	4.4 Conclusies uit de vergelijking	16
5	Factsheets CO ₂ -footprint aardehuis	18
6	Bibliografie	19
A	Achtergrond: gebruikte kentallen	22



1 Samenvatting

Vereniging Aardehuis in Olst is een woongemeenschap van 23 ecologische en zelfvoorzienende woningen, zogenaamde aardehuizen. De woningen zijn op zo'n manier gebouwd dat ze zo min mogelijk milieu-impact in de bouw- en gebruiksfase hebben. In het Europese [PROSEU](#)-project richt één van de zogenaamde *living labs* zich op het Aardehuis. Dit rapport is tot stand gekomen als onderdeel van dit *living lab*.

In dit rapport is onderzocht wat de CO₂-footprint is van een gemiddeld aardehuis in de gebruiksfase. Dat wil zeggen, de CO₂-footprint van het energiegebruik. Deze hebben we vergeleken met de CO₂-footprint van typische vergelijkbare nieuwbouwwoningen. Ook zijn de 23 aardehuizen onderling vergeleken.

De aardehuizen verschillen onderling sterk in hoe de energievoorziening precies is ingericht, in welke energie-installaties gebruikt worden, de brandstoffen en de omvang van het energiegebruik. Hieruit volgt een brede spreiding in de jaarlijkse CO₂-uitstoot per aardehuis: in 2018 tussen de 390 en 2.972 kg. Dat geldt ook voor mobiliteit met eigen auto's, wat meestal een grotere CO₂-uitstoot oplevert dan het energiegebruik in de woning, gemiddeld 3.629 kg per auto.

We hebben een gemiddeld aardehuis vergeleken met een typische nieuwbouwwoning uit de zelfde bouwperiode (2015, EPC-0.4) en de huidige bouweisen (BENG). Op basis van deze vergelijking valt op dat het netto energiegebruik van een gemiddeld aardehuis relatief hoog is ten opzichte van een BENG nieuwbouwwoning (2021), maar ook aanzienlijk lager dan een EPC-0.4 nieuwbouwwoning uit 2015. Ten opzichte van de EPC-0.4 nieuwbouwwoningen zit het verschil voornamelijk in de grote hoeveelheid zonnepanelen van een gemiddeld aardehuis. Het verschil met BENG-nieuwbouwwoningen is de houtstook in de meeste aardehuizen, terwijl een BENG-nieuwbouwwoning beschikt over een efficiënte all electric warmtevoorziening en zeer goede isolatie.

Het grote aandeel duurzame energie in het energiegebruik van het aardehuis, met name houtstook en zonnestroomproductie, vertaalt zich in een lage CO₂-footprint per m². Deze is lager dan nieuwbouw volgens zowel de bouwnormen uit 2015 (EPC-0.4) als die voor 2021 (BENG), zie Tabel 1.

Tabel 1 - Vergelijking CO₂-emissies energiegebruik gemiddeld aardehuis met typische nieuwbouwwoningen

	CO ₂ -emissies energiegebruik (kg CO ₂ -eq./m ²)
Gemiddeld aardehuis	13
Vergelijkbaar typische EPC-0.4 nieuwbouwwoning (2015)	20
Vergelijkbaar typische BENG nieuwbouwwoning (2021)	19

2 Introductie

2.1 Aardehuizen Olst

Vereniging Aardehuis in Olst is een woongemeenschap van 23 ecologische en zelfvoorzienende woningen, zogenaamde aardehuizen. De woningen zijn op zo'n manier gebouwd dat ze zo min mogelijk milieu-impact in de bouw- en gebruiksfase hebben. De woningen zijn niet aangesloten op een gasnet, maar maken gebruik van elektrische luchtwarmtepompen of houtkachels voor de ruimteverwarming, gecombineerd met zonnecollectoren, elektrische boilers en buffervaten voor tapwater. Voor de elektriciteitsvoorziening zijn de woningen aangesloten op het elektriciteitsnet en beschikken ze over zonnepanelen. Het zijn zelfbouwoningen, waardoor de precieze invulling van de energiesystemen per woning verschilt.

2.2 PROSEU-project

Deze opdracht wordt gefinancierd door de Europese Unie in het kader van het PROSEU-project binnen het Horizon 2020-programma. In het PROSEU-project wordt onderzoek gedaan naar prosumers in de Europese Unie. Het project voor het Aardehuis wordt uitgevoerd als onderdeel van het werken met 'living labs' van het PROSEU-project. Meer informatie over PROSEU is te vinden op [Prosumers for the Energy Union](#).

Opzet living lab

De Living lab is een samenwerking tussen Drift en CE Delft. Drift heeft een *needs assessment* uitgevoerd, in een daaropvolgende bijeenkomst met CE Delft, Vereniging Aardehuis en Drift bleek dat het Aardehuis behoefte heeft aan een milieu-impact assessment in termen van CO₂-footprint en totaalplaatje van het energiegebruik. Op dit moment ligt de focus van de Vereniging voornamelijk op het elektriciteitsverbruik (het Aardehuis is op dit vlak naar eigen zeggen 85% zelfvoorzienend), het aspect van warmte is nog onderbelicht. De resultaten van dit project kunnen helpen om meer aandacht te genereren voor de duurzame warmtevoorziening.

Het doel van een CO₂-footprint en een totaalplaatje van het energiegebruik is tweedelig:

- externe communicatie: vergelijking van een gemiddeld aardehuis met een typische nieuwbouwwoning in de vorm van een factsheet;
- interne communicatie: vergelijking van de woningen onderling om hieruit lessen te trekken voor de verdere verduurzaming/optimalisatie van het energiegebruik en de energieproductie van individuele aardehuizen.

De inhoudelijke uitvoering van dit living lab is in handen van CE Delft.

Om de gegevens te verzamelen voor de CO₂-footprint, heeft CE Delft bij alle bewoners gegevens uitgevraagd over het energiegebruik, de energieproductie, de woningisolatie, de technische installaties, auto's en gedrag. Deze gegevens zijn gebruikt om het energiegebruik van woningen/bewoners onderling te vergelijken en om tot een bespaaradvies te komen voor bewoners, daarnaast zijn de gegevens gebruikt om een profiel van een gemiddeld aardehuis op te stellen en deze in een factsheet te vergelijken met een typisch vergelijkbare nieuwbouwwoning.

2.3 Leeswijzer

Dit rapport bevat in drie hoofdstukken de twee delen van het onderzoek, waarbij voor de uitwerking van de factsheet nog een achtergrondhoofdstuk:

- Hoofdstuk 2: Energiegebruik en energiebesparingsopties.
- Hoofdstuk 3: Bepaling en afbakening CO₂-footprint gemiddeld aardehuis met een typische nieuwbouwwoning.
- Hoofdstuk 4: Factsheet CO₂-footprint aardehuis in vergelijking met een nieuwbouwwoning.



3 Energiegebruik en energiebesparingsopties aardehuizen

3.1 Aanpak

De bewoners van de aardehuizen hebben op ons verzoek gegevens opgestuurd over hun energiegebruik, de energieproductie, de woningisolatie, de installaties, auto's en gedrag ten aanzien van verwarming. Deze gegevens zijn gebruikt om het energiegebruik van de verschillende woningen en bewoners onderling te vergelijken. In de volgende paragrafen geven we de belangrijkste conclusies, en gaan we nader in op de variatie tussen de aardehuizen en waarop deze is terug te voeren.

3.2 Energiegebruik

Elektriciteitsgebruik

De bewoners hebben opgegeven hoeveel elektriciteit over kalenderjaar 2018 is afgenomen van het net, hoeveel is teruggeleverd en hoeveel opwek van zon-PV voor eigen gebruik is geweest. Hieruit hebben we afgeleid wat het uiteindelijke gebruik van elektriciteit is geweest.

Gemiddeld is het elektriciteitsgebruik 4.087 kWh per jaar. Het laagste is 760 kWh en het hoogste 12.600 kWh. Er is dus een behoorlijke spreiding. Daarvoor zijn een aantal factoren aan te wijzen:

- elektrische voertuigen (EV): het al dan niet opladen van een elektrische auto;
- elektrische ruimteverwarming: aanwezigheid, type en inzet van een warmtepomp;
- elektrische warmwatervoorziening: aanwezigheid, type en inzet van een elektrische boiler;
- overige elektrische apparaten en installaties;
- aantal bewoners en hun gedrag.

Wanneer we de EV's eruit filteren is het gemiddeld elektriciteitsgebruik 3.714 kWh. Ter vergelijking, het gemiddeld elektriciteitsverbruik in Nederland van een twee-onder-een-kapwoning is 3.340 kWh (in 2018) (Rijkswaterstaat, 2019). Dat is minder dan het elektriciteitsverbruik van een aardehuis, maar een gemiddelde woning is niet all electric en nog aangesloten op aardgas.

Zon-PV

22 van de 24 aardehuizen zijn voorzien van zonnepanelen. Het gaat dan gemiddeld om circa 14 panelen, tot maximaal 27. Gemiddeld wordt er 267 kWh per paneel per jaar opgewekt, met als minimum 242 kWh en maximum 288 kWh per paneel. Per huishouden is de totale productie tussen 1.370 en 6.824 kWh. Overigens was het jaar 2018 een uitzonderlijk goed jaar voor zonne-energie, met een productie tot 25% hoger dan gebruikelijk (Universiteit Utrecht, 2019).



Warmtevoorziening

De aardehuizen zijn niet aangesloten op het gasnet, dus alternatieve technieken voorzien in de warmtevraag, enerzijds voor ruimteverwarming en anderzijds voor warm tapwater.

Er zijn 18 aardehuizen met houtkachels, 2 met pelletkachels en 4 met warmtepompen. Van de warmtepompen zijn er 3 luchtwarmtepompen en 1 werkt thermodynamisch. De meeste woningen zijn voorzien van vloerverwarming voor afgifte van de warmte, andere hebben een (stralings)kachel en een enkele wandverwarming. Er zijn 4 woningen met bijverwarming in de vorm van een infraroodpaneel.

Indien men een houtkachel heeft is de houtstook gemiddeld 3,8 m³ per jaar. Het laagste is 2 m³ en het hoogste is 8 m³. Eiken- en beukenhout zijn het meest gebruikt. Uitgaande van 13,6 MJ/kg en 500 kg/m³ (zie Bijlage A) komt de gemiddelde houtstook neer op 25,5 GJ. Bij de woningen met pelletkachels is het verbruik 1 m³. Dit komt neer op ongeveer 12 GJ.

Voor de tapwaterverwarming maken 10 woningen gebruik van zonneboilers. 20 woningen hebben een elektrische boiler met uiteenlopende vermogens van 1 kW tot 2,5 kW, met eventueel additioneel een keukenboiler. Er is 1 woning met een warmtepompboiler en de woning met de thermodynamische warmtepomp gebruikt deze ook voor warm water. De meeste woningen, 14 in totaal, zijn voorzien van een buffervat voor warm water.

Mobiliteit

Er zijn 20 auto's opgegeven verdeeld over 17 huishoudens. Van deze auto's zijn er 2 elektrisch, 1 hybride, 3 diesel en 14 benzine. Het kilometrage varieert van 1.600 km/jaar tot 60.000 km/jaar. Gemiddeld wordt er zo'n 21.000 kilometer op jaarbasis gereden met deze auto's. Dat is fors meer dan een gemiddelde Nederlandse personenauto, die volgens het CBS jaarlijks zo'n 13.000 kilometer aflegt (CBS, 2019a).

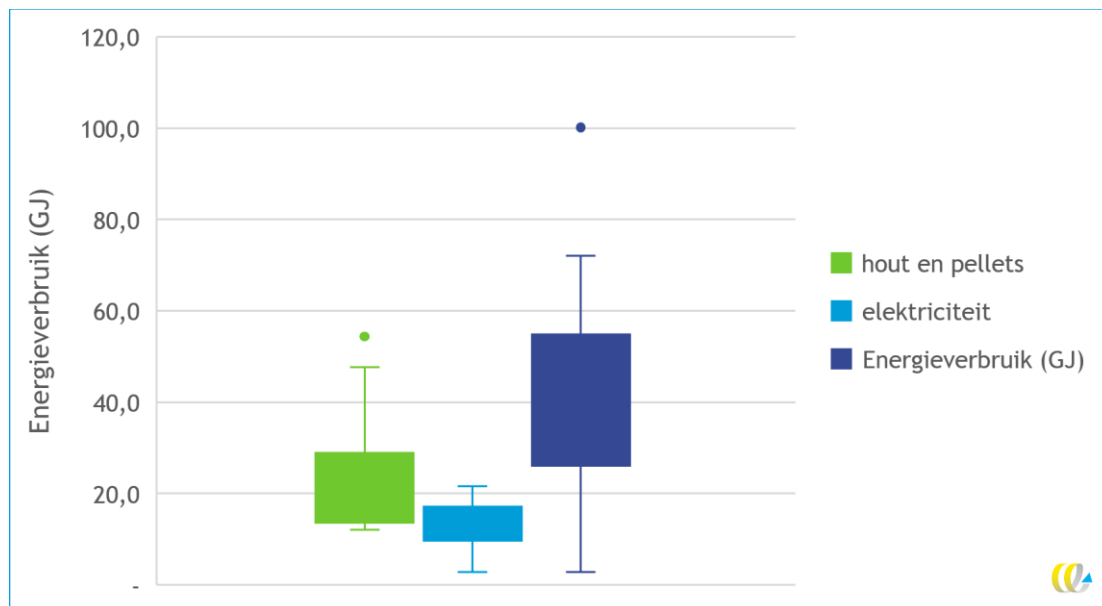
Totaaloverzicht

Figuur 1 geeft de spreiding weer in het totale jaarlijkse energiegebruik per woning (in GJ). Het blok bevat steeds de helft van de huishoudens met de meest gemiddelde waarden (in technische termen: het 2^e en 3^e kwartiel). De strepen aan de uiteinden markeren de minimum- en maximumwaardes uitgezonderd uitschieters, en eventuele uitschieters zijn als losse stippen weergegeven. Nulwaardes zijn niet opgenomen (bijvoorbeeld: geen houtstook, of geen auto).

Het gaat hier om het verbruik, dus in het geval van elektriciteit om de consumptie ongeacht of die wordt ingevuld met eigen opwek met zon-PV of vanuit het net. De elektriciteitsvraag is over het algemeen kleiner dan die voor hout en pellets. Dit is in overeenstemming met het gegeven dat verwarming over het algemeen meer energie kost dan waar elektriciteit doorgaans voor wordt gebruikt, oftewel kracht en licht. Het energiegebruik voortkomend uit autobezit en -gebruik blijkt veelal groter dan het energiegebruik in de woning, maar de spreiding is ook zeer groot, wat uiteraard voortkomt uit de verschillende kilometrages en typen auto's.



Figuur 1 - Spreiding in totale jaarlijkse energiegebruik per aardehuiswoning in GJ



3.3 CO₂-emissies

In deze paragraaf gaan we in op de totale CO₂-emissies die vrij komen als gevolg van het gebruik van energie bij de aardehuizen. Zowel in de productie- en distributieketen van energiedragers als bij het verbruik van energiedrager komt er in veel gevallen CO₂ vrij. In de totale CO₂-emissies nemen we beide emissies mee. Zie Bijlage A voor achtergrond en referenties bij de emissiekentallen.

Elektriciteitsgebruik

Het gemiddelde elektriciteitsverbruik van een aardehuis is 3.714 kWh. Dit is enkel het gebruik voor het wonen, exclusief stroomgebruik voor EV's en exclusief verrekening van de stroomopwek met zonnepanelen. De emissiefactor van elektriciteit is 0,52 kg CO₂/kWh. Dit is de CO₂-uitstoot van elektriciteit op het Nederlandse net (de leveringsmix) en volgt uit de hoeveelheden en de CO₂-intensiteit van geproduceerde en verhandelde fysieke stroom en de verhandelde certificaten voor de leveringsmix. Daarmee komt 3.714 kWh neer op 1.932 kg CO₂-uitstoot.

Zon-PV

Alle panelen bij elkaar wekken ruim 80.000 kWh per jaar op tegen nul CO₂-uitstoot. Ervan uitgaande dat deze elektriciteit anders zou zijn geproduceerd conform de leveringsmix, is er met de panelen CO₂-uitstoot vermeden. Met een emissiefactor van 0,52 kg CO₂/kWh komt 80.000 kWh stroom opgewekt met de zonnepanelen neer op ruim 41 ton CO₂-reductie.

Een gemiddeld huishouden onder de Aardehuizen met zonnepanelen produceert 3.670 kWh per jaar en vermijdt daarmee 1.908 kg CO₂-uitstoot. Naarmate de leveringsmix zelf al meer uit hernieuwbare bronnen is opgebouwd, zal de emissiefactor van netstroom afnemen en de

vermeden CO₂-uitstoot van eigen zon-PV dus ook. Uiteraard leveren zonnepanelen in heel Nederland, en dus ook die op de Aardehuizen, een bijdrage aan het verlagen van deze nationale emissiefactor.

Warmtevoorziening

Een deel van de warmtevoorziening is elektrisch. De bijbehorende CO₂-uitstoot is onder de noemer van elektriciteitsgebruik al opgegeven. Gasverbruik is er niet. Wel is er nog houtstook. In principe geldt hiervoor dat de CO₂ die daarbij vrij komt eerder uit de lucht is opgenomen, zodat de netto CO₂-uitstoot gelijk is aan nul¹. Wel is er enige emissie in kap en transport. Daarnaast heeft houtstook impact op de luchtkwaliteit en is de mate van duurzaamheid afhankelijk van het type hout (rest-, snoei- of afvalhout) en of er nieuwe bomen voor in de plaats komen. Minder houtstook is daarmee gunstiger voor milieu en klimaat dan meer houtstook.

Mobiliteit

De CO₂-uitstoot van de 20 voertuigen hangt af van het jaarkilometrage, het type auto en bijbehorende verbruikscijfers, en kengetallen over de CO₂-uitstoot van de diverse brandstoffen (emissiefactoren).

De kilometrages zijn boven besproken. Dan de types en verbruikscijfers. Allereerst, een elektromotor is efficiënter dan een verbrandingsmotor. Een Tesla verbruikt circa 20 kWh per 100 km (EV Database, 2020), oftewel 0,72 MJ/km. Een benzinemotor die 7 liter op 100 km rijdt (1 liter op 14 km), verbruikt 2,2 MJ/km. Verder zijn diesels zuiniger dan benzinemotoren, is licht gewicht zuiniger dan zwaar, en is rijgedrag ook van invloed. Wij hebben gemiddelde verbruikscijfers aangehouden zoals te raadplegen bij Autoweek (Autoweek, 2019).

Vervolgens de emissiefactoren. Benzine en diesel ontlopen elkaar niet veel in de uitstoot uit de auto zelf, maar bij de productie van diesel komt meer CO₂ vrij. In totaal komen ze uit op 88 kg CO₂/GJ respectievelijk 97 kg CO₂/GJ. Voor elektriciteit van het net is de uitstoot op dit moment hoger, namelijk 144 kg CO₂/GJ (dit is gelijk aan 0,52 kg CO₂/kWh).²

Wanneer we het verbruik en de emissiefactor samennemen, dan zien we dat elektrisch rijden per kilometer minder CO₂ uitstoot dan rijden op benzine of diesel, met ruim een factor twee.

De gemiddelde CO₂-uitstoot voor mobiliteit van de huishoudens met auto's is 4.269 kg CO₂ per jaar. Het gemiddelde per auto is 3.629 kg. Het minimum is 241 kg, behorend bij het lage kilometrage van 1.600 km/jaar. Het maximum is 9.823 kg, behorend bij een diesel waar 55.000 km/jaar mee wordt gereden.

Ten slotte, men kan stellen dat er geen uitstoot is van elektrische auto's voor zover de elektriciteit van eigen zonnepanelen komt. Dat klopt, echter strikt genomen zijn dit twee beslissingen die onafhankelijk van elkaar genomen kunnen worden: de keuze voor een EV en de keuze om zonnepanelen aan te leggen. Per saldo maakt het niet uit: de zonnepanelen

¹ Desalniettemin komt er bij de verbranding van hout wel CO₂ vrij. Het gaat hierbij echter niet om fossiele CO₂, maar om biogeen kort-cyclische CO₂. Deze CO₂ is door de aangroei van bomen de afgelopen decennia uit de atmosfeer onttrokken en levert daarom binnen een tijdframe van enkele tientallen jaren netto geen bijdrage aan de CO₂-concentratie in de atmosfeer.

² Zie Bijlage A voor achtergrond over de kentallen.



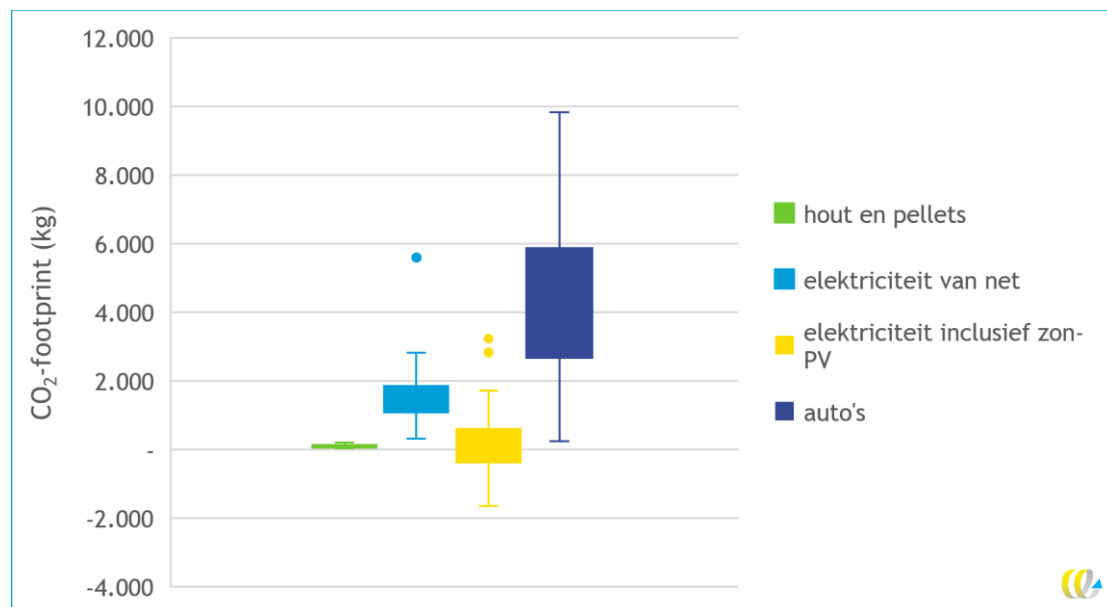
resulteren in CO₂-reductie, ongeacht of de opgewekte stroom in huis verbruikt wordt, door de EV, of wordt teruggeleverd aan het net.

Totaaloverzicht

Figuur 2 geeft de spreiding weer in de jaarlijkse CO₂-uitstoot per huishouden (in kg). Het blok bevat weer steeds de helft van de huishoudens met de meest gemiddelde waarden (in technische termen: het 2^e en 3^e kwartiel). De uiteinden markeren de minimum- en maximumwaarden uitgezonderd uitschieters, en uitschieters zijn als losse stippen weer gegeven. Nulwaardes zijn niet opgenomen.

Te zien is de beperkte CO₂-uitstoot van hout en pellets. De elektriciteit afgenomen van het net levert uitstoot op, maar teruglevering vanuit eigen opwek met zonnepanelen is te zien als het vermijden van CO₂-uitstoot en verlaagt per saldo de CO₂-footprint (in de figuur ligt geel lager dan blauw). Mobiliteit met eigen auto's levert meestal een grotere CO₂-uitstoot op dan het energiegebruik in de woning.

Figuur 2 - Spreiding in jaarlijkse CO₂-uitstoot per aardehuising en per element in kg CO₂

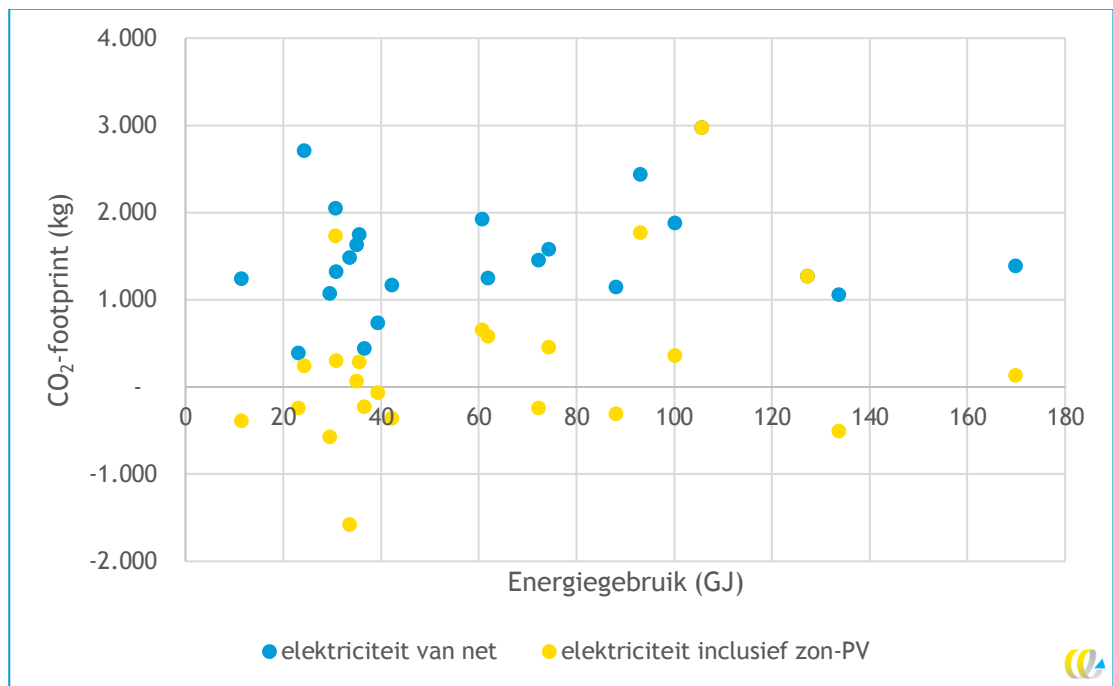


3.4 CO₂-emissies versus energiegebruik

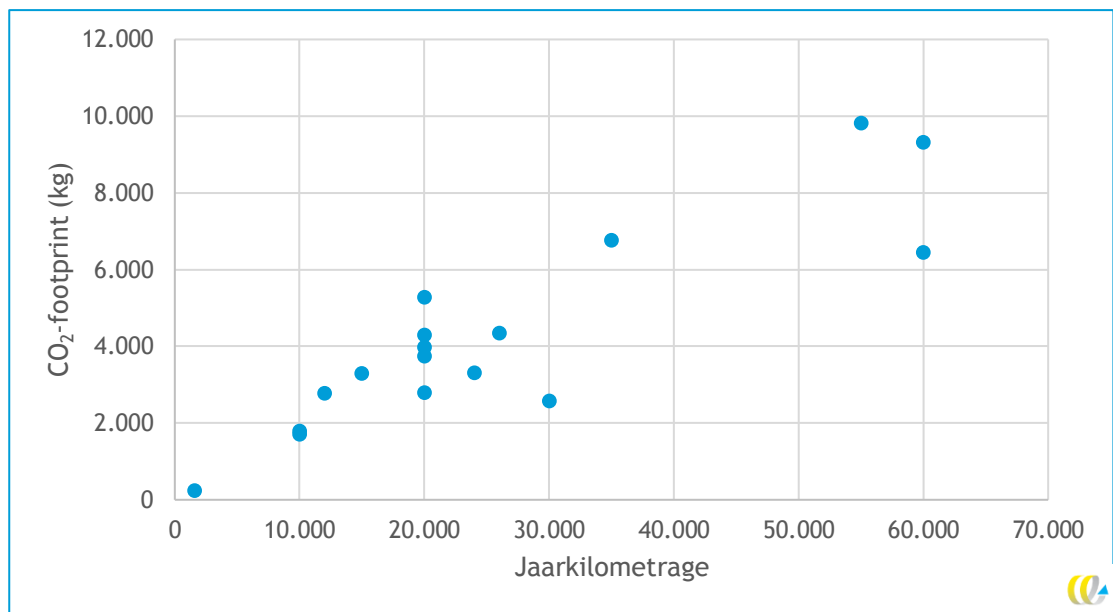
Wanneer we de informatie over energiegebruik en CO₂-uitstoot combineren krijgen we de volgende grafiek (zie Figuur 3), waarin de CO₂-uitstoot is uitgezet tegen het energiegebruik. De CO₂-uitstoot is tweemaal weergegeven: één met de voetafdruk van elektriciteitsafname van het net exclusief zon-PV, en één met de voetafdruk van elektriciteitsafname van het net inclusief opwek van eigen zon-PV (de netto elektriciteitsafname van het net). Deze cijfers zijn exclusief mobiliteit; die zijn in de tweede grafiek weergegeven.

In de grafieken is de spreiding te zien tussen de CO₂-intensiteit van het energiegebruik van de aardehuizen. Er zijn aardehuizen die weinig energie gebruiken en daarbij ook weinig CO₂ uitstoten, terwijl andere aardehuizen bij een vergelijkbaar energiegebruik relatief veel CO₂ uitstoten. Ook zijn er aardehuizen die veel energie gebruiken maar weinig uitstoten.

Figuur 3 - CO₂-footprint van aardenhuizen (kg) uitgezet tegen totaal energiegebruik (GJ) met en zonder verrekening van vermeden CO₂-uitstoot met zon-PV



Figuur 4 - CO₂-footprint van mobiliteit (kg) uitgezet tegen jaarkilometrage (km)



3.5 Best practices

Wat zijn nu de best practices in apparaten en gedrag? Allereerst de warmtevoorziening. De woningen met een warmtepomp hebben een hogere uitstoot per energiegebruik. Dit komt doordat de CO₂-uitstoot die nu toegerekend kan worden aan warmtepompen, hoger is dan die van houtkachels of pellets. Daar staan twee zaken tegenover: houtstook zorgt ook voor emissie van rookgassen met verminderde luchtkwaliteit tot gevolg; en naarmate elektriciteit van het Nederlandse net schoner wordt en de emissiefactor afneemt, zal de CO₂-voetafdruk van warmtepompen ook afnemen. In de Klimaat- en Energieverkenning 2019 (PBL, 2019) is voorzien dat de emissiefactor, nu 0,45 kg/kWh exclusief indirecte (keten)emissies, zal dalen naar 0,09 kg/kWh in 2030.

Wat verder opvalt, is dat de inrichting van de warmtevoorziening sterk varieert over alle huishoudens:

- houtstook of warmtepomp;
- zonneboilers en thermodynamische panelen of niet;
- type elektrische boilers: met omvang van 15 tot 300 liter en van 1 tot 3 kW (met eenmaal 9 kW back-up);
- de boiler 's zomers aan of uit;
- de temperatuur van het buffervat tussen 60 en 70 graden;
- wel of niet een separate keukenboiler;
- vloerverwarming (over 60 tot 157 m² en in combinatie met een kachel 20 m²), wandverwarming, straling of een combinatie;
- IR-panelen of niet.

Daar komen nog factoren bij zoals grootte van de woning (78 tot 186 m², 234 tot 558 m³), gezinssamenstelling, aanwezigheid thuis en gedrag (instelling thermostaat, inzet van houtkachel, verschil tussen overdag en 's nachts, en tussen aanwezigheid en afwezigheid thuis). Er zijn daarom te veel factoren die meespelen om de verschillen in energiegebruik direct aan te kunnen relateren. Bij de meeste is vanzelfsprekend welke richting het op gaat. Uitstoot en verbruik verminderen bij een kleinere boiler met een lager vermogen, wanneer de verwarming vaker uit kan of op lagere temperatuur, en wanneer een kleinere ruimte verwarmd hoeft te worden.

Zonnepanelen verminderen de netto elektriciteitsvraag. De uitstoot van deze elektriciteit is nul, terwijl de uitstoot van elektriciteit van het net dat niet is. Zonnepanelen zorgen dus voor verlaging van de CO₂-voetafdruk.

Ten slotte, bij mobiliteit is jaarkilometrage uiteraard een belangrijke factor. Daarnaast heeft elektrisch rijden een lagere CO₂-voetafdruk dan fossiele brandstoffen. Dit is al het geval bij de huidige emissiefactor van elektriciteit van het net, en dit verschil wordt in de toekomst nog pregnanter, wanneer elektriciteit van het net schoner wordt.



4 CO₂-footprint gemiddeld aardehuis en typische nieuwbouwwoning

4.1 Aanpak

Op basis van de verzamelde data van de aardehuizen over 2018 hebben we het energiegebruik van een gemiddeld aardehuis uit de onderzochte wijk vastgesteld. Dit is simpelweg gedaan door het rekenkundig middelen van de ontvangen gegevens. Eén woning hebben we hierbij buiten beschouwing gelaten. Deze woning had een uitzonderlijk hoog elektriciteitsgebruik, mogelijk veroorzaakt door het thuisladen van een (of meer) elektrische auto(s). In het energiegebruik is ook de consumptie van zelf geproduceerde elektriciteit en warmte opgenomen. Alleen het deel aan zonnestroom dat wordt teruggeleverd aan het elektriciteitsnet is niet meegenomen in het energiegebruik.

Zo hebben we ook de gemiddelde energieproductie berekend, hierbij gaat het om de productie van zonnestroom en zonnewarmte. Het verschil tussen het totale energiegebruik en de totale energieproductie levert het netto energiegebruik op.

Alle geconsumeerde energie is omgerekend naar CO₂-emissies door gebruik te maken van zogenaamde emissiefactoren. Dit zijn kentallen voor de CO₂-uitstoot per eenheid verbruikte energie van een bepaald type (bijv. elektriciteit of gas van het net). Hernieuwbare energie heeft een emissiefactor van 0 omdat er geen CO₂-uitstoot plaatsvindt bij de productie van de energie. Ook aan biomassa, zoals hout dat gestookt wordt in houtkachels, wordt methodologisch (volgens mondiale afspraken en Europese richtlijnen) geen CO₂-emissies toegekend.

We hebben in deze rapportage alleen naar broeikasgassen gekeken, uitgedrukt in equivalente CO₂-emissies. Deze gassen hebben een effect op klimaatverandering. Bij de verbranding van hout komen echter ook roetdeeltjes vrij en andere gassen die een effect hebben op de luchtkwaliteit, gezondheid en de kwaliteit van de natuur. Waar verwarming op basis van houtstook in vergelijking met aardgas gunstiger scoort op de (lange termijn) klimaatimpact, scoort het minder gunstig op luchtkwaliteit. Zie ook volgend tekstkader.

CE Delft heeft voor Vlaanderen een onderzoek gedaan naar de milieuschadekosten van verschillende vormen van woningverwarming (CE Delft, 2019). Hoewel de situatie in Nederland niet helemaal vergelijkbaar is met de situatie in Vlaanderen, zijn de conclusies op hoofdlijnen ook geldig voor Nederland. Met de milieuschadekosten worden de verborgen maatschappelijke kosten van luchtverontreiniging in euro's per eenheid energie uitgedrukt, in dit geval in GJ geleverde warmte. Naast de kosten van gezondheidsschade van luchtvervuiling worden hierin ook de schadekosten aan ecosystemen, gebouwen en klimaatverandering meegenomen. De resultaten voor de milieuschadekosten van verschillende verwarmingstoestellen in stedelijk gebied in Vlaanderen, laten een duidelijk beeld zien. Er volgt hieruit dat houtgestookte verwarming, afhankelijk van de techniek, in Vlaanderen minstens 10 keer schadelijker is dan aardgasgestookte verwarming door de uitstoot van schadelijk stoffen. Van de onderzochte individuele verwarmingstechnieken hebben elektrische warmtepompen de laagste milieuschadekosten.



4.2 Gemiddeld aardehuis

Een gemiddeld aardehuis is een twee-onder-een-kap woning met een woonoppervlak van 119 m². De bouwmaterialen zijn voornamelijk gerecycled materiaal, autobanden, leem en stro. De energievoorziening bestaat uit elektriciteit van het net, houtstook, zon-PV en zonneboilers.

Het gemiddelde elektriciteitsverbruik is 13,6 GJ³ en het gemiddelde gebruik van hout of pellets komt neer op 25,5 GJ. Het totale energiegebruik is 44,2 GJ inclusief 5,2 GJ aan zelf opgewekte zonnewarmte van zonnecollectoren. Daar staat elektriciteitsproductie tegenover ter grootte van 17,3 GJ. Netto is het energiegebruik daarom 26,9 GJ per jaar. Dit is 227 MJ/m² woonoppervlak.

Er is enkel CO₂-uitstoot verbonden aan de elektriciteit afgenomen van het net. Dit is gemiddeld 1.522 kg CO₂ per woning per jaar of jaarlijks circa 13 kg CO₂/m² woonoppervlak.

Figuur 5 - Foto van een (typisch) aardehuis in Olst



Foto: Aardehuis.

4.3 Vergelijkbare typische nieuwbouwwoning

Een gemiddelde aardehuiswoning is vergeleken met een typische nieuwbouwwoning. We hebben hiervoor een twee-onder-een-kap woning gekozen, net als de aardehuiswoningen. De aardehuiswoningen zijn gebouwd in 2015, daarom hebben we de vergelijking gemaakt met een typische nieuwbouwwoningen uit 2015 volgens de energieprestatie-eisen van die tijd. Ook hebben we een vergelijking gemaakt met een nieuwbouwwoning volgens de energieprestatie-eisen voor 2021, om te illustreren hoe de aardehuizen presteren volgens de maatstaven van deze tijd.

We baseren ons in deze analyse op de referentiewoningen die door het RVO zijn gepubliceerd voor EPC-0.4 bouweisen (2015) en de BENG-bouweisen (2021) (RVO, 2017a; 2017c; 2015a; 2015b). In deze publicaties staan woningkenmerken en cijfers over het gebouwgebonden energiegebruik. Deze cijfers hebben we omgerekend naar finaal energiegebruik per verbruikscategorie. Hierin ontbreekt nog een deel van het energiegebruik, zoals dat van apparaten. Om dit vergelijkbaar te maken met het gemiddelde

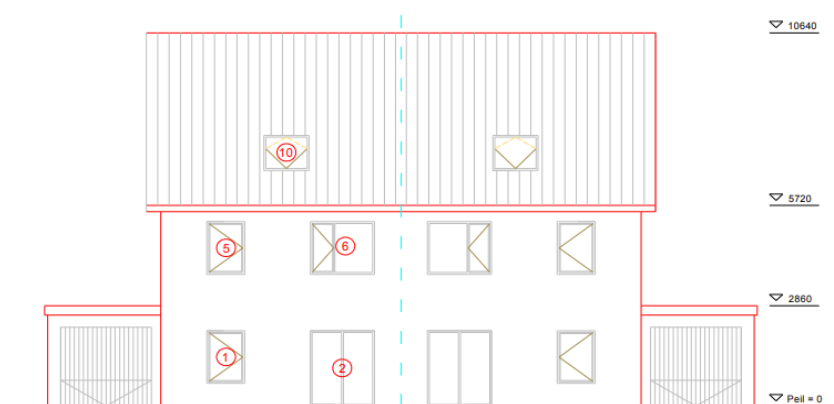
³ Dit is exclusief één woning die een afwijkend hoog elektriciteitsgebruik heeft, mogelijk vanwege het laden van één of meerdere elektrische auto's.

energiegebruik van een aardhuiswoning hebben we hier ook het gemiddelde elektriciteitsgebruik voor het niet-gebouwgebonden energiegebruik opgeteld. Het gaat dan bijvoorbeeld om het energiegebruik van apparaten zoals de koelkast, tv en (sfeer)verlichting. Dit is gebaseerd op cijfers uit 2016 van het CBS (2018).

4.3.1 Referentiewoning 2015: RVO referentiewoning type A

Dit is een twee-onder-een-kap woning die voldoet aan de EPC-0.4 bouweisen van 2015. De woning is iets groter dan een gemiddelde aardhuiswoning (148 m² t.o.v. 119 m²) en is gebouwd met conventionele (standaard) bouwmaterialen. De energievoorziening bestaat uit een elektriciteits- en gasaansluiting gecombineerd met zonnepalen en een zonneboiler. We gaan uit van een gasfornuis met een gemiddeld energiegebruik (Milieu Centraal, 2020).

Figuur 6 - Illustratie referentiewoning 2015



Afbeelding: (RVO, 2015a),

In Tabel 2 vergelijken we het totale energiegebruik, de energieproductie en de CO₂-emissies van deze referentiewoning met een gemiddeld aardhuis. Hieruit volgt dat het aardhuis per m² meer energie gebruikt, maar wel meer hernieuwbare energie produceert, waardoor het netto energiegebruik lager uitvalt. Dit zie je ook terug in de CO₂-emissies, waarbij de emissies van de aardhuiswoningen zo laag zijn door het stoken op hout.

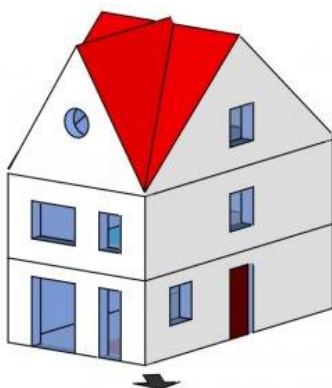
Tabel 2 - Vergelijking energiegebruik en CO₂-emissies per m² woonoppervlak van de referentiewoning met een gemiddeld aardhuis

	Referentiewoning 2015	Gemiddeld aardhuis
Bruto energiegebruik (MJ/m ²)	322	373
Energieproductie (MJ/m ²)	77	146
Netto energiegebruik (MJ/m ²)	245	227
Totale CO ₂ -emissies (kg CO ₂ -eq./m ²)	20	13

4.3.2 Referentiewoning 2021: BENG referentiewoning type M

Dit is een twee-onder-een-kap woning die voldoet aan de BENG-bouweisen van 2021. De woning is iets groter dan een gemiddelde aardehuiswoning (133 m² t.o.v. 119 m²) en is gebouwd met conventionele (standaard) bouwmaterialen. De energievoorziening bestaat uit een elektriciteitsaansluiting gecombineerd met zonnepalen, het gaat dus om een aardgas-vrije (all electric) woning. We gaan uit van een inductie kookplaat met een gemiddeld energiegebruik (Milieu Centraal, 2020).

Figuur 7 - Illustratie referentiewoning 2021



Afbeelding: (RVO, 2017a).

In Tabel 3 vergelijken we het totale energiegebruik, de energieproductie en de CO₂-emissies van deze referentiewoning met een gemiddeld aardehuis. Hieruit volgt dat het aardehuis per m² veel meer energie gebruikt. Hiertegenover staat ook veel meer hernieuwbare energieproductie, waardoor het netto energiegebruik lager uitvalt. Dit zie je ook terug in de CO₂-emissies, waarbij de emissies van de aardehuis woningen zo laag zijn door het stoken op hout. Het verschil is echter wel kleiner dan bij een nieuwbouwwoning uit 2015.

Tabel 3 - Vergelijking energiegebruik en CO₂-emissies per m² woonoppervlak van de referentiewoning met een gemiddeld aardehuis

	Referentiewoning 2021	Gemiddeld aardehuis
Bruto energiegebruik (MJ/m ²)	225	373
Energieproductie (MJ/m ²)	96	146
Netto energiegebruik (MJ/m ²)	128	227
Totale CO ₂ -emissies (kg CO ₂ -eq./m ²)	19	13

4.4 Conclusies uit de vergelijking

Op basis van de vergelijking van een gemiddeld aardehuis met de twee typische nieuwbouwwoningen valt op dat het netto energiegebruik van een gemiddeld aardehuis relatief hoog is ten opzichte van een BENG nieuwbouwwoning (2021), maar ook aanzienlijk lager dan een EPC-0.4 nieuwbouwwoning uit 2015. Ten opzichte van de EPC-0.4 nieuwbouwwoningen zit het verschil voornamelijk in de grote hoeveelheid zon-PV panelen van een gemiddeld aardehuis. Terwijl ten opzichte van de BENG-nieuwbouwwoningen het verschil voornamelijk zit in de forse hoeveelheid houtstook van het aardehuis, ten opzichte van de

efficiënte all electric warmtevoorziening en zeer goede isolatie van de BENG-nieuwbouwwoning.

Het grote aandeel duurzame energie in het energiegebruik van het aardehuis, met name houtstook en zonnestroomproductie, vertaald zich in een lage CO₂-footprint per m². Zeker in vergelijking met nieuwbouwwoningen volgens de bouwnormen uit 2015 en die voor 2021, zie Tabel 4.

Tabel 4 - Vergelijking CO₂-emissies energiegebruik gemiddeld aardehuis met typische nieuwbouwwoningen

	CO ₂ -emissies energiegebruik (kg CO ₂ -eq./m ²)
Gemiddeld aardehuis	13
Vergelijkbaar typische EPC-0.4 nieuwbouwwoning (2015)	20
Vergelijkbaar typische BENG nieuwbouwwoning (2021)	19

Belangrijke kanttekening:

De cijfers voor het Aardehuis zijn geïnventariseerd voor het jaar 2018, de cijfers reflecteren daarom ook het klimaat van dat jaar. De cijfers van de referentiewoningen zijn bepaald op basis van typische waarden, die niet noodzakelijk gelijk zijn aan 2018. Dit maakt het lastig om harde conclusies te verbinden aan de getoonde cijfers. Bekend is dat 2018 een bijzonder goed jaar was voor de productie van zonnestroom, voor de aardehuisbewoners lag de productie ruim 20% hoger dan in een gemiddeld jaar⁴. Er waren veel meer koeldagen dan in een gemiddeld jaar en ook veel minder graaddagen. De productie van zonnestroom bij de referentiewoningen is hiervoor gecorrigeerd.

⁴ Zie : [NOS nieuws : 2018 \(nu al\) droomjaar voor zonnepaneel-eigenaren](#)



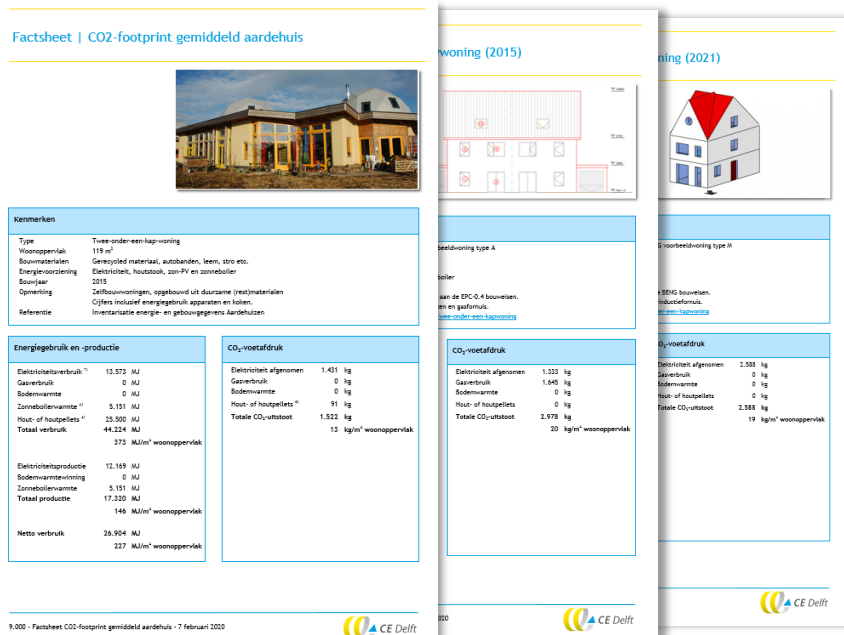
5 Factsheets CO₂-footprint aardehuis

De factsheets en overzichtsposter zijn opgenomen in een apart bestand en hieronder alleen ter illustratie weergegeven.

Figuur 8 - Overzichtsposter



Figuur 9 - De drie factsheets



6 Bibliografie

Autoweek, 2019. *Verbruiksmonitor*. [Online]

Available at: <https://www.autoweek.nl/verbruiksmonitor/>

CBS, 2013. *Houtverbruik huishoudens WoON-onderzoek 2012*. [Online]

Available at: <https://www.cbs.nl/-/media/imported/onze%20diensten/methoden/dataverzameling/aanvullende%20onderzoeksbeschrijvingen/documents/2013/51/2013-houtverbruik-huishoudens-woononderzoek-2012-art.pdf>

[Geopend 2019].

CBS, 2018. *Energieverbruik van particuliere huishoudens*. [Online]

Available at: <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2018/14/energieverbruik-van-particuliere-huishoudens>

[Geopend 30 september 2019].

CBS, 2019a. *Tabel Verkeersprestaties personenauto's, leeftijd uitgebreid, brandstof*.

[Online]

Available at:

<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83702NED/table?ts=1569846616047>

[Geopend 30 september 2019].

CBS, 2019b. *Tabel Zonnewarmte; aantal installaties, collectoroppervlak en warmteproductie*. [Online]

Available at: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82003NED/table?dl=2B46B>

[Geopend 14 november 2019].

CBS, 2019c. *Rendementen en CO₂-emissie van elektriciteitsproductie in Nederland*.

[Online]

Available at: <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2018/04/rendementen-en-co2-emissie-van-energieproductie-in-nederland-update-2017>

[Geopend 2019].

CE Delft, 2015. *STREAM personenvervoer 2014 versie 1.1. : Studie naar TRansportEmissies van Alle Modaliteiten: emissiekentallen 2011*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2017. *STREAM Goederenvervoer 2016 : Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2017. *Warmtetechnieken : Factsheet Zonneboiler*. [Online]

Available at:

https://www.ce.nl/assets/upload/file/Rapporten/2018/Factsheets%20warmtetechnieken/2_Factsheet%20Zonneboiler_DEF.pdf

[Geopend 2019].

CE Delft, 2019. *Milieuschadeprijzen van verschillende technologieën voor woningverwarming*. [Online]

Available at: <https://www.ce.nl/publicaties/download/2711>

[Geopend 2020].

CE Delft, nog niet gepubliceerd. *Emissiekentallen elektriciteit*, Delft: sn

EV Database, 2020. *Tesla Model X*. [Online]

Available at: <https://ev-database.nl/auto/1198/Tesla-Model-X-Long-Range>

ISSO, 2015. *EnergieVademecum Energiebewust ontwerpen van nieuwbouwwoningen*. [Online]

Available at: [https://kennisbank.isso.nl/docs/overig/energievademedecum/2015/bijlage-2\[1](https://kennisbank.isso.nl/docs/overig/energievademedecum/2015/bijlage-2[1)
[Geopend 2019].

Milieu Centraal, 2020. *Inductie kookplaat: elektrisch koken*. [Online]

Available at: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/apparaten-en-verlichting/huishoudelijke-apparaten/inductie-kookplaat/>
[Geopend 2 februari 2020].

Rijkswaterstaat, 2019. *Klimaatmonitor.nl*. [Online]

Available at: <https://klimaatmonitor.databank.nl/Jive>

RVO, dGMR, 2019. *BENG voorbeeldconcepten woningbouw*,

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/10/BENG%20woningbouw%20voorbeeldprojecten.pdf>: RVO.

RVO, 2015a. *Referentiewoning EPC 0,4 - Twee-onder-eenkapwoning*,

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2015/10/Twee-onder-een-kapwoning%20%20referentiewoning.pdf>: RVO.

RVO, 2015b. *Twee-onder-een-kapwoning*. [Online]

Available at: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels-gebouwen/nieuwbouw/energieprestatie-epc/referentiewoningen-epc/twee-onder-een-kapwoning>
[Geopend 30 september 2019].

RVO, 2017a. *Hoekwoning (M) RVO BENG referentiegebouwen*. [Online]

Available at: <https://www.rvo.nl/initiatieven/energiezuiniggebouwd/hoekwoning-m>
[Geopend 30 september 2019].

RVO, 2017b. *Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO2 emissiefactoren, versie januari 2017*,

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2017/05/Nederlandse%20lijst%20van%20energiedragers%20en%20standaard%20CO2%20emissiefactoren%202017.pdf>: RVO.

RVO, 2017c. *Referentie gebouwen BENG*,

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2017/02/Referentiegebouwen%20BENG.pdf>: RVO.

RVO, 2018. *Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO2 emissiefactoren, versie januari 2018*,

<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2018/03/Nederlandse%20energiedragerlijst%202018.pdf>: RVO.

TNO, 2016. *Vernieuwd Emissiemodel Houtkachels*,

[http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/Lucht%20\(Air\)/Consument,%20Kleinbedrijf%20en%20HDO%20\(Consumers\)/2016%20R10318%20Vernieuwd%20Emissiemodel%20Houtkachels.pdf](http://www.emissieregistratie.nl/erpubliek/documenten/Lucht%20(Air)/Consument,%20Kleinbedrijf%20en%20HDO%20(Consumers)/2016%20R10318%20Vernieuwd%20Emissiemodel%20Houtkachels.pdf): TNO.



Universiteit Utrecht, 2019. *2018 was droomjaar voor zonnepaneel-eigenaren : opbrengst tot 25% hoger*. [Online]
Available at: <https://www.uu.nl/nieuws/2018-was-droomjaar-voor-zonnepaneel-eigenaren-opbrengst-tot-25-hoger>
[Geopend 9 december 2019].



A Achtergrond: gebruikte kentallen

In deze studie hebben we ervoor gekozen om gebruik te maken van CO₂-emissiekentallen die naast de emissies tijdens verbruik (tank-to-wheel, TTW) ook de emissies in de voorketen (well-to-tank, WTT) bevatten, dit zijn bijvoorbeeld emissies die bij delving, raffinage, productie of distributie plaatsvinden. Dit resulteert in de totale ketenemissies (well-to-wheel, WTW). Dit heeft als voordeel dat er bij de CO₂-emissies van voertuigen een eerlijk vergelijk gemaakt kan worden tussen elektrische voertuigen en brandstofvoertuigen. Elektrische voertuigen hebben bij het verbruik in de auto geen emissies, maar bij de productie van elektriciteit vinden wel degelijk emissies plaats. De gebruikte terminologie vindt ook zijn oorsprong bij emissieberekeningen voor voertuigen.

De emissiefactoren zijn niet allemaal beschikbaar voor 2018, wanneer deze cijfers wel beschikbaar komen en de berekeningen opnieuw gedaan zullen worden, zullen de emissies een net iets andere waarde krijgen. Doordat in alle cases is gerekend met dezelfde kentallen zal het weinig effect hebben op de onderlinge verhouding van de cases.

Tabel 5 - CO₂-emissiefactoren

Energiedrager	WTT kg CO ₂ /GJ	Elektriciteitsproductie kg CO ₂ /GJ	TTW kg CO ₂ /GJ	WTW kg CO ₂ /GJ	Bron
Elektriciteit	19	126	0	145	(CBS, 2019c) (CE Delft, nog niet gepubliceerd), cijfers 2017
Aardgas	3,1		56,6	60	CO2emissiefactoren.nl, cijfers 2018
Benzine (3,3% biobenzine)	15		73	88	(CE Delft, 2015; RVO, 2017b), cijfers 2013/2018
Diesel (3,8% biodiesel)	24		73	97	(CE Delft, 2017; RVO, 2017b), cijfers 2014/2018
Hout	3,6			0	Direct o.b.v methodiek, indirect o.b.v. CO2emissiefactoren.nl

Hoewel aan stoken van hout volgens internationale afspraken geen directe CO₂-emissies worden toegekend, zijn er nog wel indirecte emissies door het zagen en transport van hout.

De emissiekentallen betreffen broeikasgasemissies, te weten de emissies van koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). Deze worden tezamen uitgedrukt in CO₂-equivalenten.

Tabel 6 geeft een overzicht van de kentallen die bij de omrekening van hout en overige energiedragers zijn gebruikt.

Tabel 6 - Energiekentallen

Energiedrager	Kental	Eenheid	Bron
Primaire energiefactor EPC	9,2	MJprim/kWh elektrisch	(ISSO, 2015)
Primaire energiefactor BENG	5,2	MJprim/kWh elektrisch	(RVO, dGmR, 2019)
Elektriciteit	0,0036	GJ/kWh	-
Aardgas	31,65	MJ/m ³	(RVO, 2018)
Benzine	43,0	MJ/kg	(RVO, 2018)
Diesel	43,2	MJ/kg	(RVO, 2018)
Hout (Nederlands gemiddelde)	13,6	MJ/kg	(TNO, 2016; CBS, 2013)
	500	Kg/kuub	
Warmteproductie zonneboiler in 2018	1,89	GJ/m ²	Berekening o.b.v. CBS (2019b)

De warmteproductie van de zonneboiler is in geen van de gevallen expliciet bekend. Wat wel bekend is, is het oppervlak van aan zonneboiler. Dit hebben we met een berekend kental voor het de typische warmteproductie per oppervlak omgerekend tot een jaarlijkse warmteproductie (zie Tabel 6).

In de aardehuiswoningen wordt veel gebruik gemaakt van houtgestookte (ruimte)verwarming. Hiervoor is het aantal kuub hout geïnventariseerd, dit hebben we omgerekend naar energiegebruik met dezelfde kentallen die het CBS hiervoor hanteert (CBS, 2013).

Voor de referentiewoningen ontbreekt in de factsheets van RVO de cijfers voor apparaten, verlichting en koken. We hebben hiervoor de cijfers uit 2016 van de Nationale Energieverkenning 2017 van het CBS gebruikt (CBS, 2018) en omgerekend naar kentallen per huishouden.