



Klimaatimpact van keuzes in Schouwen-Duiveland

Bijlage bij factsheets



Committed to the Environment

Klimaatimpact van keuzes in Schouwen-Duiveland

Bijlage bij factsheets

Dit rapport is geschreven door:

Jasper Schilling, Pien van Berkel, Maarten Bruinsma, Jan van de Pol, Marianne Teng

Delft, CE Delft, augustus 2023

Publicatienummer: 23.220132.115a

Opdrachtgever: Gemeente Schouwen-Duiveland

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Jasper Schilling (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 meer dan 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Hoe gebruik ik de factsheet?	5
3	Wonen	6
	3.1 Isoleren	6
	3.2 Verwarmen	11
	3.3 Nieuwbouw	14
4	Mobiliteit	16
	4.1 Klimaatimpact materiaal	16
	4.2 Klimaatimpact energieverbruik	18
5	Voedsel	20
	5.1 Gebruikte bronnen en aannames	20
	5.2 Andere manieren om de CO ₂ -impact van voedselconsumptie te verlagen	20
6	Recreëren	22
7	Bedrijven	23
	7.1 Zonnepanelen	23
	7.2 Overige inzichten voor bedrijven	23
8	CO ₂ -opslag	24
	8.1 Schorren	24
	8.2 Bos	25
	8.3 Carbon farming	25
9	CO ₂ -budget	27
	9.1 Aannames	27
	9.2 Aandachtspunten methode	28
	Verwijzingen	29



1 Inleiding

Dit achtergrondrapport is een bijlage bij de factsheets klimaatimpact die CE Delft in opdracht van de gemeente Schouwen-Duiveland heeft opgesteld. De factsheets geven inzicht in de CO₂-impact (Scope 1, 2 en 3) van (beleids)keuzes in verschillende sectoren en helpen de gemeente om inzicht te krijgen in welke keuzes haar inwoners kunnen maken en welke maatregelen de gemeente zou kunnen stimuleren om de CO₂-emissies in de gemeente terug te dringen.

In dit achtergrondrapport geven we extra achtergrondinformatie:

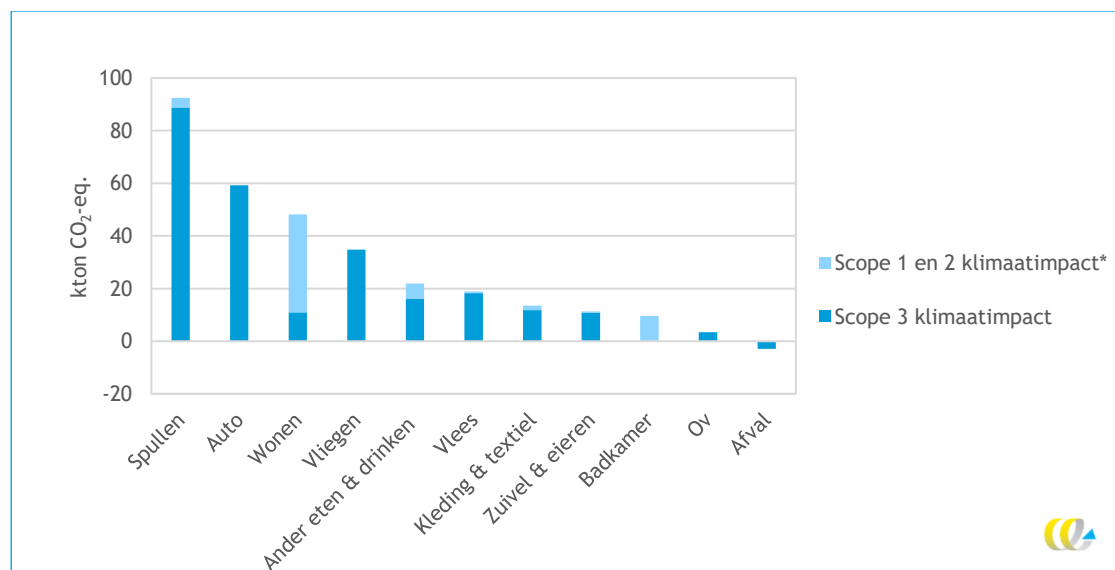
- Dit hoofdstuk gaat dieper in op de keuze voor de thema's van de factsheets en de afbakening die wij hebben meegenomen bij het uitwerken van de factsheets.
- Hoofdstuk 2 beschrijft het gebruik van de factsheets.
- Hoofdstukken 3 tot en met 8 beschrijven de methode waarmee we tot de resultaten zijn gekomen voor respectievelijk de sectoren Wonen, Mobiliteit, Voedsel, Recreëren, Bedrijven en CO₂-opslag. We gaan in op de gebruikte bronnen, onze aannames en belangrijke nuances.

Waarom deze thema's?

Dit project kijkt naar de klimaatimpact van keuzes op de thema's Wonen, Mobiliteit, Voedsel, Recreëren, Bedrijven, en CO₂-opslag.

Deze thema's zijn samen met de gemeente Schouwen-Duiveland gekozen. De thema's Wonen, Mobiliteit en Voedsel komen voort uit de klimaatimpact van inwoners in Schouwen-Duiveland. Het thema 'spullen' is zeer belangrijk in de CO₂-impact van inwoners (zie Figuur 1), maar aangezien hier zeer veel verschillende keuzes in te maken zijn, zijn deze niet in deze factsheet uitgewerkt.

Figuur 1 - Klimaatimpact van alle inwoners in Schouwen-Duiveland (voor het jaar 2019)



Bron: (CE Delft, 2022a).

Naast wonen is ook de bedrijvigheid in Schouwen-Duiveland belangrijk voor klimaatimpact. Voor bedrijven is het lastig om generiek inzicht te bieden in de impact van maatregelen, deze verschillen zeer tussen verschillende typen bedrijven, om deze reden wordt in deze factsheet met name ingegaan op het plaatsen van zonnepanelen. Hiernaast heeft Schouwen-Duiveland landelijk een belangrijke functie in recreatie. Om deze reden wordt er ook gekeken naar de klimaatimpact van verschillende typen van recreatiewoningen. Tot slot was er vanuit de gemeente interesse om de mogelijkheden van CO₂-opslag via verschillende typen van landgebruik in kaart te brengen.

Afbakening

Het gebruik van materialen en goederen heeft verschillende impacts op het milieu. We gaan in deze analyse alleen in op het *klimaat-effect*, de directe en indirecte bijdrage aan het broeikasgaseffect, wat leidt tot de opwarming van onze planeet. Het klimaat-effect is het gevolg van de uitstoot van broeikasgassen als CO₂ en methaan en wordt uitgedrukt in CO₂-equivalenten. Andere milieu-impacts of bijvoorbeeld humanitaire afwegingen worden niet meegenomen. Wanneer relevant wordt de End-of-Life fase meegenomen in de materiaal-emissies. Hierbij hoort de klimaatimpact van de afvalverwerking, maar ook de vermeden impact doordat er minder primaire producten moeten worden gebruikt wanneer producten bijvoorbeeld worden gerecycled.

CO₂ opslag

Sommige bouwproducten, zoals hout, slaan CO₂ op. Dit ziet men soms als negatieve emissies. Deze CO₂ komt aan het einde van de levensduur van het bouwproduct weer vrij, bijvoorbeeld door verbranding van het bouwproduct als afval. In deze studie kennen we geen negatieve emissies toe voor de opname van biogeen CO₂ in bouwproducten. Om consequent te zijn, rekenen we ook de emissies die vrijkomen bij aan het einde van de levensduur niet mee. Emissies van energiedragers De klimaatimpact van energieverbruik berekenen we met de Tank to Wheel (TTW) emissiefactoren. Dit zijn de directe emissies die vrijkomen bijvoorbeeld bij het verbranden van bijvoorbeeld aardgas. Bij elektriciteit zijn het de emissies die vrijkomen bij de elektriciteitsproductie. Steeds meer elektriciteit wordt duurzaam opgewekt, waardoor de emissiefactor van elektriciteit afneemt. Voor de ontwikkeling van de emissiefactoren naar de toekomst volgen we de prognoses uit de KEV (PBL, 2022).

De energieproductie heeft meer klimaatimpact dan alleen de emissies bij het verbruik van de brandstof. Er komen emissies vrij in de voorketen, bijvoorbeeld voor winning van brandstoffen. Ook de bouw van een energiecentrale, zonnepanelen of windmolens heeft een klimaatimpact, dit wordt ook wel de LCA-benadering genoemd. De voorketen- en LCA-emissies significant, echter kunnen we ze niet meenemen in deze studie. In deze studie kijken we naar een CO₂-budget over de tijd, en houden we rekening met de ontwikkeling van emissiefactoren over de tijd. In de toekomst zullen ook de voorketen en LCA-emissies afnemen. Hoe deze exact afnemen en welke emissiefactor in 2030 en 2050 gehanteerd kan worden is niet bekend. We nemen daarom deze emissies niet mee in de resultaten. In Tabel 1 staan de verschillende emissies per energiedrager.

Tabel 1 - De TTW, voorketen en LCA emissiefactoren voor aardgas en elektriciteit

Energiedrager	TTW emissiefactor	Voorketen emissiefactor	LCA emissiefactor
Aardgas	0,29 kg CO ₂ /kWh	0,047 kg CO ₂ /kWh	Grijze stroom: 0,001 kg CO ₂ /kWh Zonne-energie: 0,061 kg CO ₂ /kWh Windkracht: 0,014 kg CO ₂ /kWh
Elektriciteit	56,5 kg CO ₂ /GJ	9,1 kg CO ₂ /GJ	0 kg CO ₂ /GJ



2 Hoe gebruik ik de factsheet?

De factsheets geven een beeld van de klimaatimpact van verschillende keuzes voor een gemiddelde inwoner in de gemeente Schouwen-Duiveland. Deze factsheets geven daarmee een indicatie van de klimaatimpact van een inwoner.

Iedere factsheet start met een korte inleiding. Waarna we op twee manieren de klimaatimpact laten zien:

1. De klimaatimpact per vergelijkbare eenheid.
2. De cumulatieve klimaatimpact.

Klimaatimpact per eenheid

Met emissies per vergelijkbare eenheid bedoelen we bijvoorbeeld de klimaatimpact van isoleren per woning per jaar of de klimaatimpact van een auto per reizigerskilometer. De eenmalige klimaatimpact, van bijvoorbeeld het isolatiemateriaal of de productie van de auto, brengen we terug tot de vergelijkbare eenheid. In het voorbeeld van de auto nemen we aan dat een auto een bepaalde hoeveelheid kilometers kan rijden. De emissies als gevolg van de productie van de auto verdelen we dan gelijk over het totaal aantal kilometers. In deze weergave laten we de emissies van het gebruik van één vergelijkbare eenheid (bijvoorbeeld jaar op kilometer) zien. We gebruiken hiervoor de huidige emissies. Dat houdt in dat het gas dat gebruikt wordt aardgas is en de emissies van elektriciteit en warmte zijn zoals deze volgens de meest recente gegevens (2020) zijn (PBL, 2022).

Cumulatieve klimaatimpact

Een cumulatieve klimaatimpact, is de totale klimaatimpact over een aantal jaar. Cumulatief houdt in dat alle resultaten vanaf het begin (moment van isoleren of aanschaf van een auto) bij elkaar worden opgeteld. In de cumulatieve weergave gaan de emissies eerst flink omhoog vanwege de klimaatimpact van het materiaal, vervolgens stijgen de totale emissies steeds verder door het energiegebruik.

Om cumulatieve emissies weer te geven zijn aannames nodig voor het gebruik over een jaar (bijvoorbeeld het aantal kilometers dat wordt gereden in een auto, of het energiegebruik van een woning). Deze aannames staan altijd vermeld bij de toelichting van de cumulatieve emissies.

We nemen bij deze emissies mee dat de elektriciteitsmix in Nederland door de jaren heen verduurzaamt. De emissies als gevolg van elektriciteitsverbruik worden dus steeds lager. Het gas dat gebruikt wordt, blijft aardgas. Emissies als gevolg van gasverbruik blijven dus gelijk door de jaren heen.



3 Wonen

Voor het thema Wonen beschouwen we separaat het *isoleren* en *verwarmen* van bestaande woningen, en het nieuwbouwen van woningen.

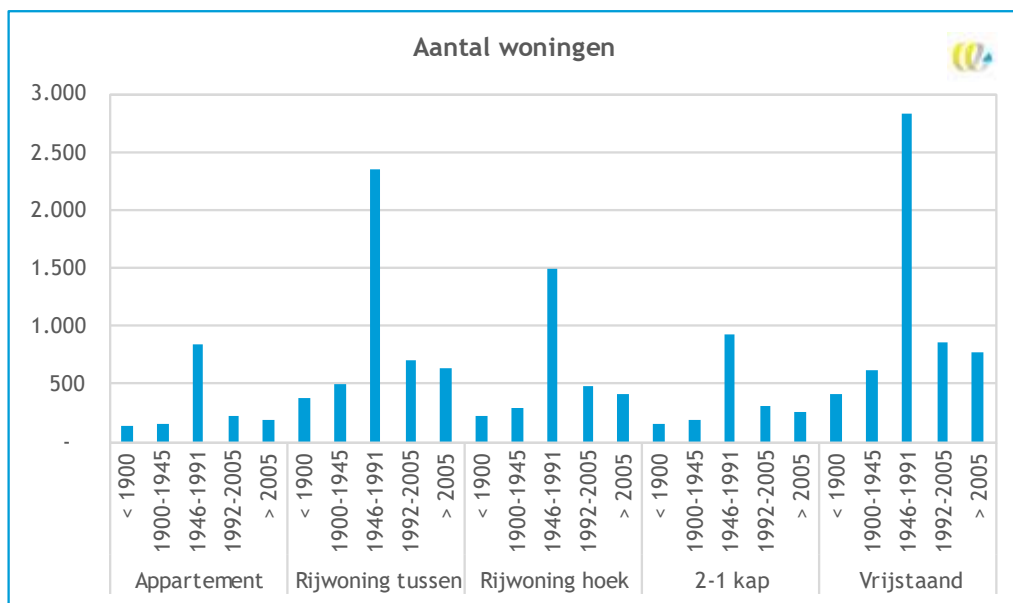
Voor bestaande woningen kijken we naar drie voorbeeldwoningen:

- vrijstaande woning gebouwd tussen 1946 en 1991 van 120 m²;
- rijwoning gebouwd tussen 1946 en 1991 van 125 m²;
- appartement gebouwd tussen 1946 en 1991 van 115 m².

Dit zijn de drie meest voorkomende woningen in de gemeente Schouwen-Duiveland (zie Figuur 2). We nemen het gemiddelde oppervlakte van woningen van dat woningtype (Kadaster, lopend).

Voor het gasverbruik nemen we het gemiddelde gasverbruik per woningtype in de gemeente Schouwen-Duiveland uit de klimaatmonitor. Deze corrigeren we naar een gasverbruik dat representatief is voor woningen gebouwd in de periode 1946-1991. De correctie bepalen we op basis van landelijke gasverbruik gepubliceerd door het CBS (Rijkswaterstaat, lopend-a). We nemen aan dat het gasverbruik voor warm tapwater van een woning 270 m³ is (Milieu Centraal, 2023b).

Figuur 2 - Aantallen woningen in de gemeente Schouwen-Duiveland per woningtype



Bron: (Kadaster, lopend).

3.1 Isoleren

Om een woning te isoleren is materiaal nodig. De productie van het isolatiemateriaal en de verwerking van het materiaal aan het einde van zijn levensduur, zorgt voor broeikasgas-emissies. Daartegenover staat een energiebesparing als gevolg van isoleren. De emissies als gevolg van energieverbruik dalen nadat de woning geïsoleerd is. We hebben de klimaat-impact voor de drie voorbeeldwoningen berekend, wanneer deze isoleren naar de [isolatiestandaard](#) van de rijksoverheid.



Klimaatimpact materiaal

De klimaatimpact van isolatiemateriaal is afhankelijk van het type materiaal en de hoeveelheid materiaal dat nodig is. De hoeveelheid isolatiemateriaal hangt weer af van de isolatiemaatregelen die worden uitgevoerd, de isolatiewaarde van het materiaal, en de oppervlaktes van de te isoleren gebouwdelen.

Isolatiemaatregelen

We nemen aan dat geen van de gebouwelementen van de voorbeeldwoningen al op het niveau van de standaard is. Dat betekent dat alle oppervlakten van de woning geïsoleerd moeten worden. De RVO voorbeeldwoningen 2022 (RVO, 2023) laten zien dat deze aanname klopt voor de gemiddelde woning in Nederland gebouwd tussen 1946 en 1991. Tabel 2 geeft de isolatiewaarde per gebouwelement om aan de isolatiestandaard van het rijk voor naoorlogse woningen te voldoen¹.

Tabel 2 - Isolatiewaarden per gebouwdeel voor de standaard voor naoorlogse woningen (ECW, 2022)

Gebouwdeel	Benodigde waarden voor de standaard voor naoorlogse woningen
Dak	Isolatiewaarde $R_c = 3,5 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ (afhankelijk van het isolatiemateriaal 8-15 cm isolatie)
Vloer	Isolatiewaarde $R_c = 3,5 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ (afhankelijk van het isolatiemateriaal en vloertype 7-14 cm isolatie onder de vloer)
Gevel	Isolatiewaarde $R_c = 1,7 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ (parels, vlokken of schuim in de spouwmuur)
Paneel	Indien aanwezig: isolatiewaarde $R_c = 1,0 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ (40 mm sandwichpaneel)
Ramen en kozijnen	U-waarde raam = $1,4 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (HR++-glas) in combinatie met een geïsoleerde deur of $1,0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ (triple glas)

Oppervlaktes gebouwelementen

De oppervlaktes per gebouwelementen baseren we op de RVO voorbeeldwoningen 2022 (RVO, 2023). De oppervlakten van de gebouwelementen waar we mee rekenen staan in Tabel 3.

Tabel 3 - Oppervlakte per gebouwelement voor de voorbeeldwoningen op Schouwen-Duiveland

Woningtype	Oppervlak per woning	Vloer m^2	Gevel m^2	Dak hellend m^2	Dak plat m^2	Ramen m^2
Vrij 1946-1991	120	72	95	87	24	6
Tussen 1946-1991	125	54	44	62	24	5
Appartement 1946-1991	115	29	30	32	21	7

Type isolatiemateriaal

We kijken naar twee soorten materiaal om te isoleren, conventioneel en biobased isolatiemateriaal. Voor de klimaatimpact van productie wordt uitgegaan van een gemiddelde CO_2 -waarde. De emissies voor einde levensduur zijn op basis van eigen berekening. Voor alle isolatiematerialen wordt er vanuit gegaan dat ze, op den duur, worden verbrand en de

¹ Ventilatie en kierdichting laten we buiten beschouwing.

fossiele CO₂ in conventionele isolatiematerialen vrijkomt. Voor het glas is het uitgangspunt dat het laagwaardig zal worden gerecycled. Mogelijk dat in de toekomst hiervoor betere technieken beschikbaar komen, maar hiermee geeft de berekening een worst-case impact aan. Op dit moment draagt de afvalfase voor maximaal 26% bij aan de klimaatimpact van de niet-biobased materialen. Voor de biobased materialen was de bijdrage aan klimaatimpact van de afvalfase maximaal 8%, maar voor de meeste biobased materialen is de bijdrage van de afvalfase licht negatief door vermeden energieproductie bij verbranding.

Tabel 4 - Niet-biobased isolatiemateriaal per m2

		Dikte (mm)	Gewicht (kg/m ²)	Klimaatimpact productie, transport en installatie		Klimaatimpact afvalfase	
				kg CO ₂ /m ²	Bron	kg CO ₂ /m ²	Bron
Plat dak	PIR met aluminiumlaag	80	2.56	11.68	AdB	3.67	Eigen berekening o.b.v. forfaitaire waarden NMD, alleen verbranding
Hellend dak	Pir zonder aluminiumlaag	120	4.15	20.07	AdB	5.94	Eigen berekening o.b.v. forfaitaire waarden NMD, alleen verbranding
Vloer	Gespoten PURschuim	100	4.08	16.30	AdB	5.84	Eigen berekening o.b.v. forfaitaire waarden NMD, alleen verbranding
Spouw	EPS parels	50	1	9.72	AdB	1.58	Eigen berekening o.b.v. forfaitaire waarden NMD, alleen verbranding
Raam	HR++-glas		14	33.5	Ecoinvent	-6.2	NMD database

Tabel 5 - Biobased isolatiemateriaal

		Dikte (mm)	Gewicht (kg/m ²)	Klimaatimpact productie, transport en installatie		Klimaatimpact afvalfase	
				kg CO ₂ /m ²	Bron	kg CO ₂ /m ²	Bron
Plat dak	Drukvaste houtvezelplaat + PE-folie	140	19.6+1.2	29.35	AdB	2.44	Eigen berekening o.b.v. forfaitaire waarden NMD, alleen verbranding
Hellend dak	Flexibele houtvezelplaat + PA-folie	140	7+0.08	7.46	AdB	-0.13	Eigen berekening o.b.v. forfaitaire waarden NMD, alleen verbranding
Vloer	Flexibele houtvezelplaat	160	8	7.7	AdB	-0.25	Eigen berekening o.b.v. forfaitaire waarden NMD, alleen verbranding
Spouw	bio-EPS parels	50	1	9	AdB	-0.11	Eigen berekening o.b.v. forfaitaire waarden NMD, alleen verbranding

		Dikte (mm)	Gewicht (kg/m ²)	Klimaatimpact productie, transport en installatie		Klimaatimpact afvalfase	
				kg CO ₂ /m ²	Bron	kg CO ₂ /m ²	Bron
Raam	HR++-glas		14	33.5	Ecoinvent	-6.2	NMD database

Compartimenteren

Compartimenteren is het thermisch scheiden van het woongedeelte (woonkamer en keuken) van de rest van de woning. De onderliggende gedachte hierbij is dat de overige ruimtes meestal nauwelijks worden verwarmd. Omdat bij compartimenteren niet de gehele woning wordt geïsoleerd, maar enkel het verwarmde gedeelte, is minder isolatiemateriaal nodig. Er zijn nog niet veel praktijkvoorbeelden van thermisch compartimenteren. Om deze reden hebben wij aannames gedaan over de mate van isolatie. Hiernaast zijn er bij compartimenteren nog een aantal belangrijke kanttekeningen te plaatsen (zie Tekstblok 1).

We zijn ervan uitgegaan dat met compartimenteren uiteindelijk dezelfde warmtevraag wordt verkregen als met regulier isoleren, maar dan met minder materiaalgebruik. Verder is het uitgangspunt dat de benedenverdieping geïsoleerd wordt, en de bovenverdieping niet. Dit leidt tot de volgende aannames over de gebruikte hoeveelheid materialen:

- Vloerisolatie:
 - De hoeveelheid materialen voor de isolatie van de vloer blijft gelijk.
- Isolatie voorgevel:
 - **Vrijstaande woning:** De helft van het geveloppervlak wordt geïsoleerd.
 - **Rijwoning:** Een derde van het geveloppervlak wordt geïsoleerd.
- Isolatie dak:
 - Het dak wordt niet geïsoleerd, maar wel het plafond van de begane grond. Deze isolatie is meegenomen.
- Ramen:
 - **Vrijstaande woning:** De helft van het raamoppervlak wordt geïsoleerd.
 - **Rijwoning:** Een derde van het raamoppervlak wordt geïsoleerd.

De resulterende oppervlaktes waar rekening mee is gehouden zijn weergegeven in Tabel 6. NB: compartimenteren is niet berekend voor appartementen, omdat deze geen benedenverdieping hebben.

Tabel 6 - Oppervlakte per isolatie meegenomen in de berekening voor compartimenteren voor de voorbeeldwoningen op Schouwen-Duiveland

Woningtype	Woon oppervlak per woning (m ²)	Vloer m ²	Gevel m ²	Plafond m ²	Ramen m ²
Vrijstaand 1946-1991	120	67	48	67	12
Tussenwoning 1946-1991	120	36	10	36	8

Tekstblok 1 - Aandachtspunten bij compartimenteren

Er zijn nog niet veel praktijkvoorbeelden van thermisch compartimenteren. (Hogeschool Saxion, 2020) heeft vier prototype woningen gerenoveerd volgens het concept. In dat project werden rijwoningen gerenoveerd uit de periode 1946-1964, bewoond door één- en tweepersoonshuishoudens. Dit brengt ons op een belangrijk bezwaar tegen compartimenteren: het is niet altijd toekomst gericht; andere bewoners willen de bovenverdieping wellicht wel verwarmen (bijvoorbeeld een gezin met kinderen die huiswerk willen maken op hun kamer).



Andere aandachtspunten² bij compartimenteren zijn:

- In het onderzoek van (Hogeschool Saxion, 2020) zijn de effecten van koudebruggen en de daarbij komende vochtproblemen niet meegenomen. Dit is met name een risico bij woningen met de slechtste energielabels. Koudebruggen (ook wel thermische bruggen) ontstaan door een onderbreking in de isolatielaag van de woning. In dit slecht geïsoleerde gebied kan kou van buiten naar binnen komen of warmte uit de woning ontsnappen, wat leidt tot comfortverlies en risico op vochtproblemen (onder andere schimmelvorming).
- De overlast in de woning is niet minder dan bij reguliere isolatie. Uit het onderzoek van (Hogeschool Saxion, 2020) blijkt dat bewoners dit aanvaardbaar vinden.
- Je verliest ruimte in de woning (hoogte en oppervlakte).
- Wanneer een ventilatiesysteem aanwezig is in de woning dienen geïsoleerde ruimtes en de rest van de woning een eigen ventilatiesysteem te krijgen, anders vindt er nog veel warmte-uitwisseling plaats binnen de woning.
- Bewonersgedrag heeft grote invloed op de daadwerkelijke effectiviteit van compartimenteren (deuren dichtdoen).

Klimaatimpact energieverbruik

Het isoleren van een woning zorgt voor een lagere warmtevraag en daarmee voor een reductie van emissies. We nemen aan dat de woning voor en na gebruik verwarmd wordt met een cv-ketel op aardgas. Voor de besparing op de warmtevraag gaan we uit van isoleren naar de Standaard (RVO, 2021). Het gasverbruik van de woning zonder isolatie, is het gemiddelde gasverbruik van een vrijstaande woning, rijwoning of appartement in de gemeente Schouwen-Duiveland (Rijkswaterstaat, lopend-b), gecorrigeerd naar een gasverbruik voor een woning gebouwd tussen 1946-1991. Na isolatie is de woning op het niveau van de maximale netto warmtevraag die de Standaard voorschrijft (zie Tabel 7). We nemen aan dat de energiebesparing gelijk is bij alle typen van isoleren. Over compartimenteren is nog weinig bekend. Het is dus onzeker of de energiebesparing bij compartimenteren inderdaad tot dezelfde energiebesparing leidt als wanneer de hele woning geïsoleerd wordt.

Ook is het belangrijk om te beseffen dat de daadwerkelijke energiebesparing in alle gevallen voor een groot deel afhankelijk is van gedrag. Zijn bewoners van een huis in de huidige situatie al erg zuinig, dan zal de energiebesparing waarschijnlijk lager uitvallen.

Tabel 7 - Gasverbruik voor en na isoleren naar de standaard en de warmtevraag volgens de Standaard na isoleren

Woningtype	Huidig gasverbruik (m ³)	Warmtevraag na isolatie (kWh/m ²)	Gasverbruik na isolatie (m ³)
Vrijstaande woning	2.030	83	1.350
Rijwoning	1.270	57	1.050
Appartement	880	45	830

² Bron: mail W/E Adviseurs 28 februari 2023.



3.2 Verwarmen

Het verwarmen van een woning brengt klimaatimpact met zich mee. Allereerst moet de verwarmingsinstallatie geproduceerd worden. De emissies van de productie en het verwerken van een verwarmingsinstallatie nemen we mee onder de klimaatimpact van materiaal. Vervolgens zorgt het energiegebruik van de verwarmingsinstallatie ook voor een klimaatimpact. We vergelijken vier opties voor het verwarmen van een woning:

1. Hr-ketel.
2. Hybride warmtepomp.
3. All electric-warmtepomp.
4. Warmtenet (middentemperatuur -70°C).

Om de verschillende opties eerlijk te kunnen vergelijken, gaan we voor elk van de installaties er vanuit dat deze nieuw aangeschaft wordt. We bekijken als het ware de situatie op het moment dat het huidige verwarmingssysteem niet meer functioneert en vervangen moet worden.





Hr-ketel

Een hoogrendement-ketel of hr-ketel is een warmtetechniek voor de productie van ruimteverwarming en warm tapwater. De hr-ketel verwarmt water door aardgas of groengas te verbranden. De pomp bij de ketel verplaatst het verwarmde water naar het afgiftesysteem in de woning. Nadat het water door het afgiftesysteem is gestroomd, komt het afgekoelde water weer terug naar de ketel en wordt het opnieuw verwarmd. Voor het maken van warmtapwater wordt koud water uit de waterleiding verwarmd. Dit warme water wordt naar de tappunten vervoerd.



Hybride warmtepomp

De hybride warmtepomp combineert een elektrische warmtepomp met de hr-ketel op gas. De elektrische warmtepomp kan voor ongeveer de helft van de warmtebehoefte zorgen. Dit gaat zeer efficiënt, omdat de warmtepomp energie haalt uit de omgeving, bijvoorbeeld de buitenlucht. De energie wordt gebruikt voor ruimteverwarming en/of warmtapwaterbereiding. Ongeveer een vijfde van de tijd springt de hr-ketel bij op momenten dat de warmtepomp niet voldoende warmte kan leveren, bijvoorbeeld wanneer het buiten koud is en/of er (veel) warmtapwater nodig is. Hoe hoger het isolatieniveau van het gebouw, hoe minder vaak de hr-ketel hoeft bij te springen, en hoe groter de vermindering van het (aard)gasverbruik.

Een hybride warmtepomp is nog niet aardgasvrij: deze gebruikt aardgas op die momenten dat de hr-ketel bijspringt. Op de langere termijn (verwacht wordt zeker na 2030), kunnen groengas of groene waterstof dit aardgas mogelijk vervangen. Op dat moment is het mogelijk om zonder CO₂-uitstoot te verwarmen met een hybride warmtepomp. Het is echter nog zeer de vraag of, en zo ja wanneer, deze energiedragers beschikbaar komen. Aangezien de factsheets kijken naar de klimaatimpact op dit moment is er geen rekening gehouden met waterstof of groengas.



Elektrische warmtepomp

Een elektrische warmtepomp is een individuele elektrische warmteoplossing.

Gebouweigenaren kunnen zelfstandig overschakelen op deze techniek. De twee meest voorkomende warmtepompen zijn de lucht- en bodemwarmtepomp.

Deze warmtepompen gebruiken warmte uit de lucht of bodem en brengen dit met behulp van elektriciteit naar een temperatuurniveau dat geschikt is voor het verwarmen van gebouwen en tapwater. Doordat warmtepompen voornamelijk energie uit de lucht of bodem gebruiken, hebben ze een hoger rendement dan de hr-ketel. De luchtwarmtepomp maakt gebruik van de buitenlucht. De ventilator (buitenunit) die nodig is voor een luchtwarmtepomp, maakt geluid. De bodemwarmtepomp is duurder dan de luchtwarmtepomp om aan te leggen, maar is wel energiezuiniger. Een warmtepomp verwarmt een woning met laagtemperatuurwarmte (LT). Het is daarom in veel gevallen nodig radiatoren te vervangen voor LT-radiatoren of vloerverwarming.



Warmtenet

Een warmtenet is een collectieve warmtevoorziening. Een netwerk vervoert warm water van een warmtebron naar de woning. Door middel van een warmtewisselaar wordt de warmte overgebracht van het warmtenet naar het water dat door de radiatoren in de woning stroomt. Een middentemperatuurwarmtenet (MT) heeft een temperatuur van tussen de 55 en 75°C en wordt meestal gevoed met MT-bronnen (zoals geothermie) of LT-bronnen, waarna de temperatuur wordt opgewerkt met een collectieve warmtepomp. Voorbeelden van LT-bronnen zijn ondiepe geothermie (tot 1.250 meter diep, met een temperatuur van 15-40°C) en aquathermie. Bij aquathermie wordt warmte onttrokken aan water, zoals oppervlaktewater of afvalwater. Dit is doorgaans in combinatie met een wko (warmtekoudeopslag).

Klimaatimpact materiaal

De impact van de bouwfase en afvalfase verschilt tussen verschillende fabrikanten/varianten. Voor de warmtepomp wordt uitgegaan van een EPD (Environmental Product Declaration) van de Vaillant Therm Split (Vaillant GmbH, 2021). Voor het vervangen van een hr-ketel wordt uitgegaan van de Remeha Avanta Ace (Remeha, 2022). Voor de hybride optie, gaan we uit van de combinatie van de twee. Dit komt niet helemaal overeen met de praktijk, want vaak wordt er een warmtepomp met een kleiner vermogen geïnstalleerd in een hybride opstelling.

Voor de inschatting van het warmtenet wordt gebruik gemaakt van een artikel van (Verhagen et al., 2022). Hierin wordt de klimaatimpact van de materialen voor opwekking, distributie en afgifte (warmtewisselaar) meegenomen. In dit artikel wordt alleen gekeken naar de materiaalimpacts, niet naar de bijdrage van installatie. In werkelijkheid zullen de emissies dus iets hoger liggen. We gaan uit van een HT-warmtenet, waarbij geen aanpassingen aan het warmteafgiftesysteem hoeven te worden gedaan. Hoewel in Schouwen-Duiveland aquathermie wordt gezien als meest geschikte optie, gaat het artikel van Verhagen uit van geothermie. Er is echter geen goede data beschikbaar met betrekking tot de klimaatimpact van een warmtenet op basis van aquathermie, de materiaalimpact van de infrastructuur is dus relatief onzeker.

Voor de all electric-warmtepomp, is door de lagere afgiftetemperatuur van het verwarmingswater ook een aanpassing nodig aan het afgiftesysteem. Op basis van een milieuverklaring van Franse producenten van vloerverwarming, wordt de klimaatimpact inclusief installatie op 19.7 kg CO₂-eq. per m² geschat (Cochebat, 2021). Dit is iets hoger dan de inschatting van Verhagen et al., (2022) namelijk 18 kg CO₂-eq. In Verhagen et al., (2022) wordt echter alleen gekeken naar materiaalimpacts, waardoor bewerkingstappen dit verschil goed kunnen verklaren.

De klimaateffecten van de eventuele netverzwaring die nodig is als veel mensen overstappen naar een warmtepomp zijn niet meegenomen, de analyse moet dus worden gezien als een indicatie van de effecten van een individuele keuze. Wel zijn er aanwijzingen dat dit effect niet groot zal zijn (CE Delft, 2022b).

Tabel 8 - kg CO₂-eq. per huishouden in vrijstaande woning

	Materiaalimpact installatie	Lekkage koelstof	Materiaalimpact warmteafgifte	Materiaalimpact infra	Bron
HR ketel	395				EPD Remeha
Hybride	1.606	1.640			EPD Vaillant+Remeha
All electric	1.211	1.640	1.798		EPD Vaillant EPD PCRBT
Warmtenet	234			1.413	(Verhagen et al., 2022)

Klimaatimpact energieverbruik

We nemen aan dat de woning al geïsoleerd is tot de standaard voor woningisolatie en de bijbehorende warmtevraag heeft zoals weergegeven in Tabel 7. Per warmtetechniek bepalen we de hoeveelheid gas, elektriciteit en warmte die nodig is om met die warmtetechniek de warmtevraag in te vullen. Tabel 9 geeft een overzicht van de

warmtetechnieken, de energiedragers die zij gebruiken en bijbehorende rendementen. Een hybride warmtepomp verwarmt de woning met zowel gas als elektriciteit. Voor een goed geïsoleerde woning wordt 60% van de warmtevraag ingevuld met elektriciteit en 40% met gas. Het warme tapwater wordt geheel met gas verwarmd.

Tabel 9 - Rekenwaarden voor de warmtetechnieken

Warmtetechniek	Gebruikt energiedragers	Rendement
Hr-ketel	Aardgas	Ruimteverwarming: 94% Warm tapwater: 65%
Hybride warmtepomp	Ruimteverwarming: aardgas en elektriciteit Warm tapwater: aardgas	Ruimteverwarming gas: 94% Ruimteverwarming elektrisch: 400% Warm tapwater: 65%
All electric-warmtepomp	Elektriciteit	Ruimteverwarming: 400% Warm tapwater: 230%
Warmtenet	Warmte (aquathermie met opwaardering)	Ruimteverwarming: 100% Warm tapwater: 100%

De emissiefactoren van de verschillende energiedragers staan in Tabel 10. We nemen aan dat de gasgestookte warmtetechnieken aardgas blijven gebruiken, de emissiefactor van aardgas daalt niet in de tijd. De emissiefactoren van elektriciteit en warmte dalen wel. Voor het warmtenet gaan we uit van een middentemperatuurwarmtenet dat gebruik maakt van aquathermie met elektrische opwaardering. De emissiefactor van warmte hangt dus samen met de emissiefactor van elektriciteit. Door toename van duurzame opwek, zoals wind- en zonne-energie, wordt de elektriciteitsmix in Nederland steeds duurzamer. Hierdoor daalt de emissiefactor van elektriciteit. We nemen aan dat de emissiefactor van elektriciteit en warmte beide gedaald zijn naar 0.

Tabel 10 - Emissiefactoren

Energiedrager	2020	2025	2030	2040	2050 (aannname)	Bron
Aardgas	56,5 kg CO ₂ /GJ	56,5 kg CO ₂ /GJ	56,5 kg CO ₂ /GJ	56,5 kg CO ₂ /GJ	56,5 kg CO ₂ /GJ	
Elektriciteit	0,29 kg CO ₂ /kWh	0,19 kg CO ₂ /kWh	0,07 kg CO ₂ /kWh	0,04 kg CO ₂ /kWh	0 kg CO ₂ /kWh	(PBL, 2022)
Warmte	29,2 kg CO ₂ /GJ	20,4 kg CO ₂ /GJ	8,8 kg CO ₂ /GJ	4,4 kg CO ₂ /GJ	0 kg CO ₂ /GJ	(Over Morgen, 2022)

3.3 Nieuwbouw

Voor houtbouw zijn we uitgegaan van houtskeletbouw. Houtskeletbouw wordt het meest toegepast in laagbouw, voor hoogbouw lijkt houtskeletbouw minder geschikt. Massief houten bouw, oftewel CLT (Cross Laminated Timber), is ook een mogelijkheid voor nieuwbouw, zowel voor laagbouw als hoogbouw. Op dit moment wordt CLT nog niet veel ingezet en is er dus minder informatie hierover bekend. In deze analyse laten we dus alleen het effect op klimaatimpact van toepassing van houtskeletbouw op laagbouw zien.

De klimaatimpact van een nieuwbouwwoning is naast materiaalgebruik erg afhankelijk van het ontwerp. Voor houtbouw geldt dat het ontwerp en de bouw van een woning zal afwijken van een woning die in de constructie uit beton en kalkzandsteen bestaat. Voor grond-

gebonden woningen hoeft het verschil in ontwerp niet groot te zijn en heeft W/E adviseurs een doorrekening gemaakt van de CO₂-emissies van een grondgebonden woning uitgevoerd in houtskeletbouw of traditionele ‘zware’ productie (uit beton en kalkzandsteen) (W/E Adviseurs, 2016). De resultaten geven de hele levenscyclus weer van productie tot afvalverwerking.

Tekstblok 2 - Koolstofopslag door houtbouw?

Er is in de bouw veel discussie over het meenemen van het potentieel van hout om CO₂ langdurig op te slaan. Op dit moment wordt dit in berekeningen met de bepalingsmethode niet meegenomen. TNO heeft een verkennend onderzoek gepubliceerd waarin het verschil in klimaatimpact van een conventionele casco woning wordt vergeleken met een casco woning uit CLT of HSB (TNO, 2021). Dit onderzoek laat zien dat de resultaten erg worden beïnvloed door het wel of niet meenemen van koolstofopslag door het gebruik van hout. Mocht in de toekomst koolstofopslag wel worden meegenomen, dan zal de klimaatwinst door houtbouw groter worden.

De analyse is gedaan op basis van de voorbeeldgebouwen van de RVO waarbij in het houtskeletbouwscenario de voorbeeldwoning van houtskeletbouw is doorgerekend. Er is gecorrigeerd voor het gemiddeld kleinere gebruiksoppervlak van woningen in Schouwen-Duiveland. Meer houten elementen zullen de klimaatimpact verder doen verlagen. In het scenario ‘maximaal hout’ wordt het extra reductiepotentieel berekend van het uitvoeren in hout van alle elementen waar dit realistisch kan, dit is bijvoorbeeld de gevelbekleding.

4 Mobiliteit

We vergelijken de klimaatimpact van verschillende manieren van vervoer. Vervoersmiddelen moeten geproduceerd en aan het einde van de levensduur als afval verwerkt worden, daar komen emissies bij vrij. Daarnaast zijn er ook emissies als gevolg van het energieverbruik in de gebruiksfase van het vervoersmiddel. De verschillende vervoersmiddelen die we vergelijken zijn:

- benzine auto;
- elektrische auto;
- elektrische deelauto;
- ov-bus (diesel);
- ov-bus (elektrisch);
- elektrische fiets;
- fiets.

Niet elk voertuig wordt op dezelfde manier gebruikt, de afstanden die je met de auto aflegt zijn niet gelijk aan de afstanden die je met de fiets aflegt. Om toch een vergelijking te kunnen maken tussen de verschillende manieren van vervoer kijken we naar de emissies per persoon per kilometer. Dit noemen we een reizigerskilometer. We brengen de klimaatimpact van een individu in de gemeente Schouwen-Duiveland in beeld. We nemen daarom aan dat iemand alleen in de auto of op de fiets zit. Voor een ov-bus gaan we uit van een gemiddelde bezettingsgraad in Nederland van 8,11 personen (CE Delft, 2023).

4.1 Klimaatimpact materiaal

Personenauto

De klimaatimpact van de benzine- en elektrische auto halen we uit een levenscyclusanalyse (LCA) studie van CE Delft (CE Delft, 2020). Deze studie gaat uit van een C-segment auto met een levensduur van 185.000 km. De batterijcapaciteit van de elektrische auto is gebaseerd op de capaciteit van een huidige e-Golf (35,8 kWh). Deze capaciteit is representatief voor een elektrische auto in het C-segment. Er zijn in de hogere segmenten ook auto's op de markt met een grote batterijcapaciteit. De klimaatimpact van deze auto's zullen hoger uitvallen.

Tabel 11 - Klimaatimpact materiaal van een benzine en elektrische auto, bij een levensduur van 185.000 kilometer

	Klimaatimpact in ton CO ₂ -eq.	
	Benzine	Elektrisch (eigen bezit en deelauto)
Materiaalgebruik (excl. batterij)	5,3	6,6
Productie batterij	-	6,2
Assemblage en productie onderdelen (excl. batterij)	1,5	2,0
Totaal	6,8	14,8

Bron: (CE Delft, 2020).

Effect van een deelauto

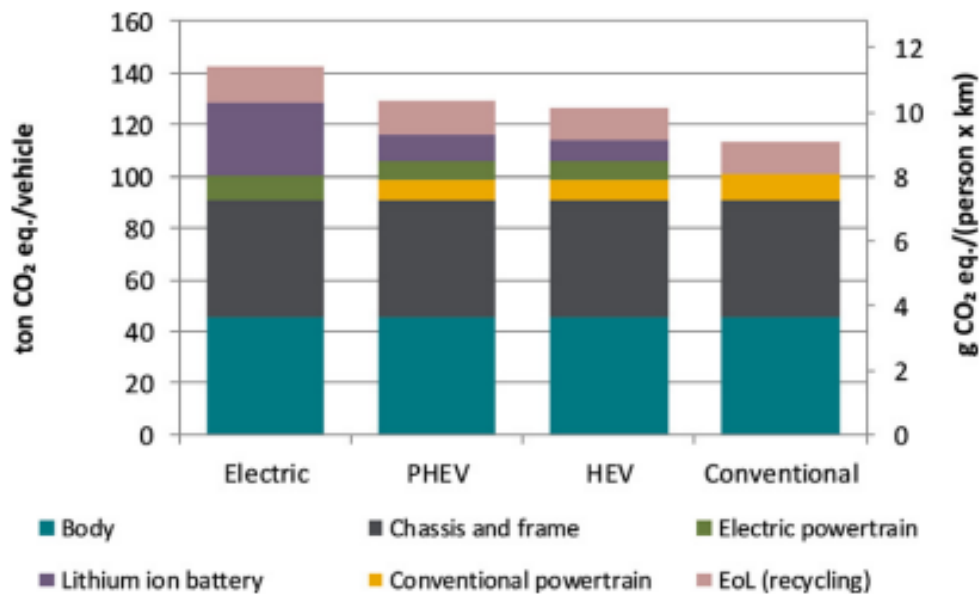
Het is lastig om het verschil in klimaatimpact tussen een elektrische auto en een elektrische deelauto kwantitatief inzichtelijk te maken. Met de aanname dat een auto tot het einde van de levensduur doorrijdt is er per reizigerskilometer namelijk geen verschil tussen een eigen elektrische auto en een deelauto.

Het is echter aannemelijk dat mensen die gebruik maken van een deelauto minder kilometers met de auto zullen rijden. Volgens milieu centraal maken autodelers ongeveer 20% minder kilometers dan voor zij begonnen met autodelen (Milieu Centraal, 2023a). Dit effect hebben we meegenomen in de resultaten. We kennen 20% minder klimaatimpact van het materiaal toe aan de reiziger, omdat de reiziger de auto deelt met andere reizigers. Een belangrijk aandachtspunt is dat het aantal kilometers dat iemand rijdt een zeer groot effect heeft op de klimaatimpact. Hoe minder kilometers iemand rijdt, des te meer gebruikers gebruik maken van de deelauto en des te kleiner de klimaatimpact per gebruiker.

Bus

Volgens (Anders Nordelöf et al., 2019) is de klimaatimpact van het materiaal voor een conventionele ov-bus 9 g CO₂-eq./rkm³ en van een elektrische bus 11 g CO₂-eq./rkm (zie Figuur 3). Dat onderzoek gaat uit van een bezettingsgraad van zestien personen en een totale levensduur van 12,5 miljoen reizigerskilometers. In Nederland is de gemiddelde bezettingsgraad van een ov-bus 8,11 personen (CE Delft, 2023). We nemen aan dat een Nederlandse bus dezelfde klimaatimpact heeft over de hele levensduur als de conventionele bus in (Anders Nordelöf et al., 2019). Dat resulteert in een klimaatimpact van 17,8 g CO₂-eq./rkm voor een conventionele bus en 21,7 g CO₂-eq./rkm voor een elektrische bus in Nederland.

Figuur 3 - Klimaatimpact materiaal van verschillende type bussen (Anders Nordelöf et al., 2019). In deze studie gebruiken we de klimaatimpact van een conventionele bus



³ Rkm is reizigerskilometer, dat houdt in per kilometer per reiziger.

Naast (Anders Nordelöf et al., 2019) hebben we ook naar de (Mobitool, 2020) gekeken voor de klimaatimpact van een bus. Volgens (Mobitool, 2020) is de klimaatimpact van een bus 3,3 of 5,25 g CO₂-eq./rkm respectievelijk exclusief of inclusief onderhoud bij een bezettingsgraad van tien personen. De klimaatimpact bij een bezettingsgraad van 8,11 personen is dan 6,5 g CO₂-eq./rkm. Dit is een stuk lager dan de klimaatimpact uit (Anders Nordelöf et al., 2019). Mobitool geeft weinig inzicht in de berekeningen en in wat is meegenomen in de klimaatimpact. Dit is de reden dat we aansluiten bij de waarde uit (Anders Nordelöf et al., 2019). Echter is de klimaatimpact van materiaal slechts een klein aandeel in de totale klimaatimpact van een ov-bus. De conclusies die we trekken veranderen niet wanneer we uit zouden gaan van (Mobitool, 2020).

Fiets

De klimaatimpact van een fiets baseren we op een studie die aan de hand van een levenscyclusanalyse verschillende typen micro mobiliteit in Frankrijk vergelijkt (de Bortoli, 2021). Hieruit volgt een klimaatimpact voor het materiaal en de productie van een fiets van 10,5 en 16,0 g CO₂ per voertuigkilometer voor respectievelijk een gewone en een elektrische fiets. Hierbij is uitgegaan van een levensduur van een fiets van 20.000 km. Bij een elektrische fiets komt de meeste impact van de productie van de fiets zelf (76%) , de elektromotor zorgt voor 18% van de impact en de batterij slechts voor 3%. Voor de klimaatimpact van een fiets is uitgegaan van de gemiddelde wereldwijde markt. We hebben de klimaatimpact uit deze studie overgenomen voor Schouwen-Duiveland.

4.2 Klimaatimpact energieverbruik

De klimaatimpact van het brandstofverbruik van personenauto's halen we uit de STREAM-webtool (CE Delft, 2023). We zijn uitgegaan van well-to-wheel-emissies exclusief de emissies voor infrastructuur. De emissies van infrastructuur vallen buiten de scope van deze studie. In deze studie kijken we enkel naar het milieueffect van keuzes van een individuele inwoner in de gemeente Schouwen-Duiveland. De keuze van een individuele inwoner heeft geen effect op de infrastructuur. Indien alle inwoners van Schouwen-Duiveland overstappen op elektrisch rijden heeft dit wel bepaalde gevolgen voor de laadinfrastructuur, die hebben ook een klimaatimpact. Maar omdat we kijken naar de keuzes die een individu kan maken, nemen we die klimaatimpact niet mee. Ook zijn we daarom uitgegaan dat iemand alleen in de auto of op de fiets zit. Voor een bus hebben we wel de gemiddelde bezettingsgraad in Nederland genomen (CE Delft, 2023). Tabel 12 geeft een overzicht van de rekenwaarden. De vervoerconcessies van de provincie Zeeland schrijven voor dat een nieuwe bus aan de euro-6 norm moet voldoen. Voor de emissies van de ov-bus op diesel hebben we gemiddelde emissies van een ov-bus genomen. Deze zijn lager dan de emissies van een euro-6-bus (deze zijn namelijk 125,4 gr CO₂-eq./rkm). De bus waar we mee rekenen voldoet dus aan de eisen van de vervoerconcessie die op dit moment geldt in Zeeland. De elektrische bus is een bus die volgens de ambitie uit de Regionale Mobiliteitsstrategie in 2025 voldoet aan de norm van de vervoersconcessie.



Tabel 12 - Overzicht van de gebruikte emissies per reizigerskilometer en de bezettingsgraad

	Klimaatimpact energieverbruik (gr CO ₂ -eq./rkm)	Bezettingsgraad
Benzine auto	198,9	1
Elektrische auto	79,9	1
Ov-bus (diesel)	115,1	8,11
Ov-bus (elektrisch)	55,0	8,11
Elektrische fiets	3,2	1
Fiets	0	1

5 Voedsel

Voedsel veroorzaakt 17% van de klimaatimpact van consumenten in Nederland. Van de klimaatimpact van het gemiddelde Nederlandse dieet wordt 71% veroorzaakt door de consumptie van dierlijke producten (PBL, 2019b). Daarom gaan we in dit hoofdstuk in op de CO₂-effecten van de verandering naar een vegetarisch of veganistisch dieet.

5.1 Gebruikte bronnen en aannames

Er zijn veel studies die laten zien dat een vermindering in consumptie van dierlijke eiwitten tot een reductie van klimaatimpact leidt. Verschillende studies komen echter uit op net andere resultaten. Dit komt onder andere, doordat de exacte reductie afhankelijk is van de producten waarmee deze dierlijke eiwitten worden vervangen.

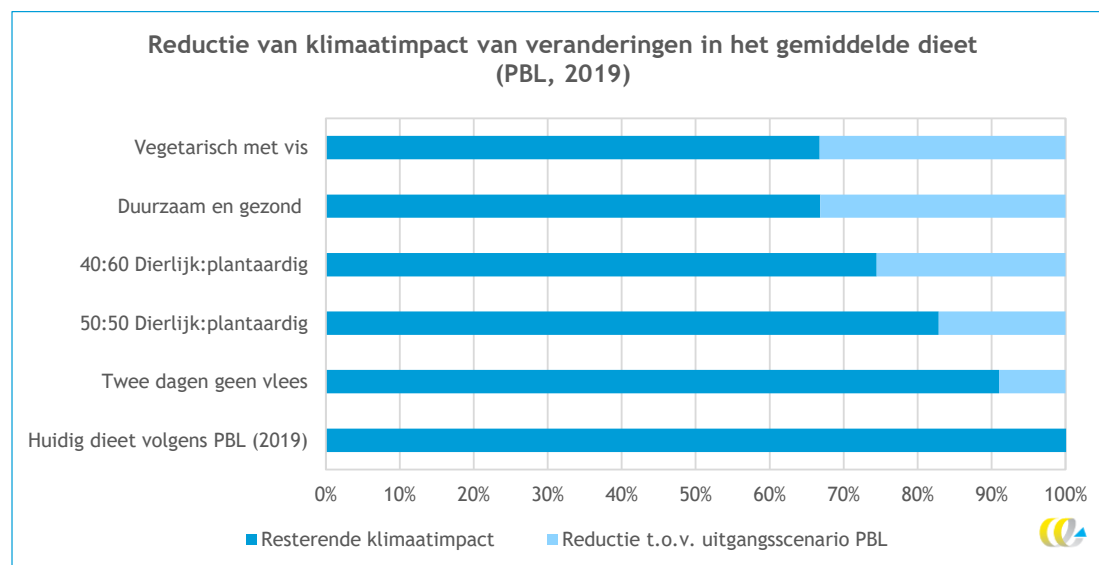
We hebben de klimaatimpact van het huidige dieet gebaseerd op een berekening van het PBL (PBL, 2019b).

Voor de inschatting van het reductiepotentieel van dieetverandering maken wij gebruik van een studie van (Hallström et al., 2015), waarin de resultaten van een aantal meerdere studies worden vergeleken. De studie geeft grote bandbreedtes voor de potentiële reductie van klimaatimpact door een vegetarisch of veganistisch dieet. Studies specifiek voor de Nederlandse context vallen in deze bandbreedte. Seves et al., (2017) berekenen een gemiddelde reductie van klimaatimpact van 47% bij een veganistisch dieet in Nederland. Voor vrouwen komen Van Dooren et al., (2014) op een reductie van 22% bij een vegetarisch dieet en 35% bij een veganistisch dieet. PBL, (2019a) berekent voor een vegetarisch dieet met vis een reductie van klimaatimpact van ruim 30%.

5.2 Andere manieren om de CO₂-impact van voedselconsumptie te verlagen

Een volledig vegetarisch of veganistisch dieet zijn niet de enige keuzes om de klimaat-impact van voedsel te verlagen. Ook een kleinere verschuiving van dierlijke naar plantaardige eiwitten zal voor een (kleinere) reductie in klimaatimpact zorgen. PBL heeft in een studie verschillende diëten met elkaar vergeleken, zie Figuur 4. Ook verschilt de klimaat-impact tussen verschillende categorieën vlees, zo heeft kippenvlees een flink lagere klimaatimpact dan rundvlees (PBL, 2019b).

Figuur 4 - Reductie van klimaatimpact van veranderingen in het gemiddelde dieet (PBL, 2019b)



De verschuiving van dierlijke naar plantaardige eiwitbronnen is veruit het meest effectief om de klimaatimpact van voedselconsumptie terug te dringen. Er zijn echter ook andere manieren om CO₂-impact van voedsel te verlagen:

- **Voedselverspilling tegengaan:** Het PBL (PBL, 2019b) heeft scenario's gemaakt waarin de totale voedselverspilling in de consumptieketen met 50 of 25% wordt gereduceerd. Volgens de berekeningen van (PBL, 2019b) (PBL, 2019a) zorgt een reductie van voedselverspilling van 50% voor een afname van 5% in de klimaatimpact van de gemiddelde Nederlandse voedselconsumptie.
- **Letten op locatie en seizoen van de productie van aardappels, groenten en fruit:**
 - Transport met het vliegtuig vergroot milieu-impact van groenten en fruit: volgens een Zwitsers onderzoek (Stoessel et al., 2012) is de totale milieu-impact van asperges zo'n tien keer zo hoog als deze worden ingevlogen vergeleken met asperges uit eigen land of buurlanden.
 - Teeltwijze kan milieu-impact meer beïnvloeden van transportafstand: Of een groente in de volle grond, een onverwarmde of verwarmde kas wordt geteeld beïnvloedt de milieu-impact van groenten vaak meer dan de transportafstand (als deze wordt afgelegd per vrachtwagen en boot). De milieu-impact van tomaten uit een met aardgas verwarmde kas in Zwitserland is bijvoorbeeld twee keer zo hoog als de milieu-impact van een tomaat uit een niet-verwarmde kas die uit Spanje wordt geïmporteerd naar Zwitserland (Stoessel et al., 2012). Hierbij maakt het uit of een kas met aardgas wordt verwarmd of dat deze gebruik maakt van een warmtekrachtkoppeling (wkk). Ook zijn er in Nederland steeds meer ontwikkelingen om kassen met aardwarmte te verwarmen. Voor consumenten is meestal wel inzichtelijk in welk land groente of fruit is geteeld, maar de teeltwijze is dat meestal niet. Het is dan ook lastig om hier je keuzes op te baseren.
 - Import van fruit van ver met boot en vrachtwagen kunnen de milieu-impact verdubbelen, blijkt uit een eerdere studie van (CE Delft, 2014) .

6 Recreëren

Voor het thema Recreëren wordt gekeken naar de klimaatimpact van de bouw en het verwarmen van nieuwe recreatiewoningen. Er worden twee typen vakantiewoningen bekeken, een vakantiewoning met een oppervlakte van 75 m² BVO en een chalet met een oppervlakte van 55 m² BVO. De keuze voor deze woningen is gemaakt op basis van (Kenniscentrum Recreatie, 2011). In navolging van de berekening van nieuwbouw met een woonfunctie wordt de analyse van W/E Adviseurs gebruikt voor een inschatting van de klimaatimpact van de bouw van de recreatiewoningen (W/E Adviseurs, 2016). Met name voor het chalet zal de constructie en het materiaalgebruik afwijken van de productie van een 'normale' vrijstaande woning. Er is echter geen preciezere studie voor de Nederlandse situatie. Om deze reden is voor het chalet het scenario 'maximaal hout' van het rapport van W/E Adviseurs meegenomen.

Als warmtevraag voor recreatiewoningen wordt uitgegaan van 25 kWh/m²/jaar op basis van de specificaties van de logieswoning van de Referentiegebouwen BENG (RVO, 2017). Deze warmtevraag is op basis van een woning die het gehele jaar verwarmd wordt. Volgens het CBS hebben vakantiewoningen een gemiddelde bezettingsgraad van 22% (CBS, 2023). We zijn daarom uitgegaan van een energieverbruik van 22%. Hiermee overschatten we mogelijk de energievraag: vakantiewoningen worden vooral gebruikt in de zomer, in de maanden dat de energievraag het laagst is. Deze overschatting heeft maar een klein effect op de resultaten en zal de conclusies niet beïnvloeden.

Aangezien wij hier nieuwe woningen bekijken, gaan we er niet vanuit dat de warmtevraag zal worden voorzien met een hr-ketel of hybride warmtepomp. Ook de aanleg van een warmtenet voor vakantiewoningen is onwaarschijnlijk. We kijken dus alleen naar verwarming met een warmtepomp. Voor de inschatting van de klimaatimpact van de materialen van de warmtepomp wordt dezelfde bron gebruikt als in Paragraaf 3.2.

In de presentatie van de cumulatieve emissies van de recreatiewoning, wordt de eenmalige impact van de bouw van de woning en de jaarlijkse impacts van de warmteopwekking van de woning gezamenlijk gerepresenteerd. Aangezien in de bron voor de klimaatimpact van de bouw van de woning ook de verwarming is meegenomen, is de verwachte klimaatimpact van de hr-ketel uit Paragraaf 3.2 afgetrokken van het totaal.

7 Bedrijven

Het is zeer lastig om generiek iets te zeggen over de keuzes die bedrijven kunnen maken. Om deze reden wordt er in de factsheet ingegaan op de klimaatimpact van het aanschaffen van zonnepanelen. Hiernaast wordt er verder nog algemeen ingegaan op de inzichten over wat bedrijven verder kunnen doen om hun klimaatimpact te verlagen.

7.1 Zonnepanelen

Een siliconen zonnepaneel geproduceerd in China heeft een klimaatimpact van 810 kg CO₂-eq./kWp (Müller et al, 2021). Zo een zonnepaneel is representatief voor de zonnepanelen die in Nederland kunnen worden aangeschaft. Voor de klimaatimpact van het gebruik nemen we aan dat elektriciteit van het net, met een emissiefactor van de landelijke mix, vervangen wordt door 100% duurzame elektriciteit. Dit impliceert dat de opgewekte elektriciteit voor 100% bij het bedrijf zelf gebruikt wordt. In de praktijk wordt een groot deel van de opgewekte elektriciteit aan het net geleverd, vervolgens gebruikt het bedrijf weer elektriciteit van het net op het moment dat het nodig is. Het is meestal duurzamer om de opgewekte elektriciteit direct te gebruiken. In deze studie overschatten we dus mogelijk de reductie van de klimaatimpact van zonnepanelen. Dit geldt vooral op grote schaal en wanneer de opgewekte elektriciteit direct op het net ingevoed wordt. De gebruikte rekenwaarden staan in Tabel 13.

Tabel 13 - Rekenwaarden voor de klimaatimpact van zonnepanelen

Grootheid	Waarde	Eenheid	Bron
Klimaatimpact materiaal zonnepaneel	810	Kg CO ₂ -eq./kWp	(Müller et al, 2021)
Emissiefactor elektriciteit landelijke mix 2020	0,29	kg CO ₂ /kWh	(PBL, 2022), integrale methode
Emissiefactor elektriciteit van panelen	0	kg CO ₂ /kWh	Aanname CE Delft
Vermogen zonnepaneel	370	Wp	(Milieu Centraal, lopend)
Vollasturen zonnepaneel	845	uur/jaar	(PBL et al., 2021)
Levensduur zonnepaneel	25	jaar	(Milieu Centraal, lopend)

7.2 Overige inzichten voor bedrijven

De overige inzichten van bedrijven zijn gebaseerd op algemene inzichten. Voor het bepalen van het aandeel procesenergie bij een gemiddeld bedrijf op Schouwen-Duiveland is gebruik gemaakt van data van stichting Energie Regio. Zij hebben Energie Potentieelscans laten uitvoeren voor drie bedrijventerreinen in de Hoeksche Waard. Stichting Energie Regio geeft aan dat twee van deze bedrijventerreinen redelijk representatief zijn voor Schouwen-Duiveland.

De Energie Potentieelscans splitsen het elektriciteits- en gasgedeelte op in een proces-deel en een niet proces gebonden deel. De verhouding in het gasverbruik tussen het proces gebonden deel en de totale gasvraag is gebruikt om te komen tot een indicatie van het aandeel procesgas in de totale gasvraag: deze ligt voor deze twee bedrijventerreinen tussen de 11,7 en 24,5%. In de factsheet is dit veralgemeniseerd tot een range van 10-25%.

8 CO₂-opslag

In dit hoofdstuk vergelijken we de jaarlijkse CO₂-opslag van schorren, bos en verschillende technieken voor carbon farming.

8.1 Schorren

Het NIOZ (NIOZ, 2020) heeft onderzoek gedaan naar het vastleggen van koolstof door schorren in het Verdronken Land van Zuid-Beveland. Schorren leggen koolstof vast door bodemophoging. Echter door schorranderosie gaan schorren en de hierin opgeslagen koolstof verloren. Uit de studie blijkt dat de koolstofvastlegging in het Verdronken Land (154 ha) momenteel netto (dus gecorrigeerd voor erosie) 627 ton CO₂-eq. per jaar bedraagt. Dit komt dus overeen met 4,1 ton CO₂-eq./ha/jaar. Door schorranderosie gaat veel koolstof verloren. Als schorranderosie wordt tegengegaan, kan de koolstofvastlegging volgens de studie ca. 27% hoger uitvallen (dus 5,2 ton CO₂/ha/jaar). Het NIOZ-rapport geeft verschillende maatregelen om schorranderosie te reduceren en schorontwikkeling binnen- en buitendijks te stimuleren.

Tekstblok 3 - Wat zijn schorren en slikken?

Slikken zijn meestal slibrijke, onbegroeide delen van oevers die bij vloed twee keer per dag overspoeld worden. Bij laag water vallen slikken droog. Schorren zijn de hoger gelegen delen die alleen bij hogere hoogwaters helemaal onder water lopen. Schorren zijn volledig begroeid, in tegenstelling tot slikken en platen. In het noorden van Nederland worden schorren vaak 'kwelders' genoemd (NIOZ, 2020).

Er is een grote onzekerheid over de hoeveelheid vastgelegde koolstof die meegerekend mag worden als vermeden uitstoot, omdat de samenstelling van de koolstof die opgeslagen ligt in het Verdronken Land niet goed bekend is. In de studie van het NIOZ wordt 50% van de in de schorren aanwezige koolstof beschouwd als vermeden CO₂-emissie.

We doen de aanname dat ruimte voor nieuwe schorren wordt gecreëerd, 100% van de CO₂ die wordt opgenomen kan worden beschouwd als vermeden emissies. Voor het bepalen van het CO₂-effect van mogelijke nieuwe schorren in Schouwen-Duiveland hanteren we een bandbreedte op basis van getallen voor het Verdronken Land en het wereldwijde gemiddelde:

- Volgens Bureau Waardenburg (Bureau Waardenburg, 2018) bedraagt de vastlegging van koolstof in de schorren in het Verdronken Land 1.389 ton CO₂/ha. De jaarlijkse opslag (over een periode van 120 jaar) is gemiddeld 11,6 ton CO₂/ha/jaar.
- Het IPCC (IPCC, 2014) hanteert een waarde van 255 ton koolstof per ha, wat correspondeert met 936 ton CO₂/ha en dus gemiddeld 7,8 ton CO₂/ha/jaar.⁴

⁴ 1 ton C staat gelijk aan 3,67 ton CO₂.



Tabel 14 - CO₂-vastlegging van schorren

Categorie	Maatregel	ton CO ₂ -eq. vastlegging per ha per jaar	Bron
Schorren	Handhaven bestaande schorren	4,1	(NIOZ, 2020) - Verdrongen Land
Schorren	Handhaven bestaande schorren en tegengaan van erosie	5,2	(NIOZ, 2020) - Verdrongen Land
Schorren	Nieuwe schorren	7,8 - 11,6	Onderwaarde (wereldwijd gemiddelde): (IPCC, 2014) Bovenwaarde (Verdrongen Land): (Bureau Waardenburg, 2018)

8.2 Bos

Een beukenbos is het bostype met de hoogste vastleggingsnelheid van 4,6 ton C/ha/jaar (Nabuurs & Verkaik, 1999). Stel dat de gemeente Schouwen-Duiveland een beukenbos met een oppervlakte van 1 ha aanlegt, wordt hiermee 16,9 ton CO₂/ha/jaar opgenomen. (Nabuurs & Verkaik, 1999) houden voor een gemiddeld Nederlands bos een vastleggingsnelheid van 1,4 ton C/ha/jaar (dus 5,1 ton CO₂/ha/jaar).

Tabel 15 - CO₂-vastlegging van bos

Categorie	Maatregel	ton CO ₂ -eq. vastlegging per ha per jaar	Bron
Bos	Aanleggen nieuw bos	5,1 - 16,9 ⁵	Onderwaarde: gemiddeld Nederlands bos. Bovenwaarde: beukenbos. Bron: (Nabuurs & Verkaik, 1999).

8.3 Carbon farming

In het project Carbon Farming werkt ZLTO aan het vergroten van het koolstofgehalte in landbouwbodems (ZLTO, lopend). Dit zorgt er niet alleen voor dat CO₂ uit de lucht wordt opgenomen in de bodem, ook zorgt een optimaal koolstofgehalte in de bodem voor meer bodemleven en een betere water- en nutriëntenvasthoudend vermogen. Carbon farming kan met verschillende bodemtechnieken. Tabel 16 beschrijft de, volgens (Interreg North Sea Region), vijf best toepasbare bodemtechnieken in Nederland. Andere technieken die op de website van ZLTO worden genoemd, zijn het verbeteren van gewasrotatie en agroforestry.

⁵ Het gaat hierbij enkel over de CO₂ die wordt opgeslagen in bovengrondse biomassa.

Tabel 16 - CO₂-vastlegging van verschillende carbon farming-technieken

Naam techniek	Beschrijving	ton CO ₂ -eq. vastlegging per ha per jaar	Bron
Niet kerende grondbewerking	Niet ploegen en niet keren van de bodem.	0 ⁶ - 1,2	Onderwaarde: (Slim Landgebruik, 2021) Bovenwaarde: (Interreg North Sea Region)
Groenbemester	Teelt van een gewas specifiek voor het verbeteren van bodemkwaliteit voor of na een hoofdteelt.	0,3 - 2,3	Onderwaarde: (Interreg North Sea Region) Bovenwaarde: (Slim Landgebruik, 2022)
Natuurcompost	Maximale hoeveelheid natuurcompost aanbrengen. Hoe meer natuurcompost wordt aangebracht, hoe meer organische stof wordt opgebouwd.	0,4 - 4	(Slim Landgebruik, 2023)
Dierlijke mest	Maximale hoeveelheid vaste dierlijke mest aanbrengen wat toegestaan is binnen de mestruimte. Hoe meer dierlijke mest wordt aangebracht, hoe meer organische stof wordt opgebouwd.	0,3 - 1,4	Onderwaarde: (Interreg North Sea Region) Bovenwaarde: (Slim Landgebruik, 2021)
Stro hakselen en laten liggen	Stro hakselen, verdelen en inwerken op de akker.	0,6	(Interreg North Sea Region)
Verbeteren gewasrotatie	Een rotatie met veel rustgewassen (gewassen die goed zijn voor de bodemkwaliteit en waterhuishouding) zoals graan draagt bij aan de opbouw van organische stof in de bodem.	0,2 - 1,8	(Slim Landgebruik, 2021)
Agroforestry	Agroforestry is een teeltsysteem waarin bomen en struiken gecombineerd worden met éénjarige teelten. In Nederland spreken we van agroforestry wanneer houtige, meerjarige gewassen zoals bomen en struiken bewust een onderdeel uitmaken van de akkerbouw, groenteteelt en/of de veehouderij.	1,9 - 4,0 ⁷	(Slim Landgebruik, 2023)

⁶ Niet-kerende grondbewerking zorgt voor een meer natuurlijke profielopbouw in de bodem. Of het ook bijdraagt aan het vastleggen van koolstof wordt momenteel onderzocht in het project Slim Landgebruik (Slim Landgebruik, 2023).

⁷ Het gaat hierbij enkel over CO₂ die wordt opgeslagen in bovengrondse biomassa.

9 CO₂-budget

In het IPCC-rapport uit 2021 (IPCC, 2021) is berekend hoeveel broeikasgassen er mondiaal nog maximaal uitgestoten kunnen worden om met enige waarschijnlijkheid binnen de 1,5 of 2 graden opwarming van de aarde te blijven. De wereldwijde uitstoot van broeikasgassen mag vanaf begin 2020 nog maximaal 300 Gton CO₂-eq. bedragen om met een waarschijnlijkheid van 83% binnen de 1,5 graden opwarming van de aarde te blijven. Om met een waarschijnlijkheid van 67% binnen de 1,5 graden opwarming te blijven, mag de wereldwijde uitstoot vanaf begin 2020 nog maximaal 400 Gton CO₂-eq. bedragen. In een eerdere studie van CE Delft voor de gemeente Schouwen-Duiveland is het mondiale CO₂-budget vertaald naar een budget voor de gemeente. Met gelijkblijvende emissies wordt dit jaar (2023) het budget om binnen 1,5 graden opwarming te blijven al overschreden. Hoewel het budget wereldwijd nog niet overschreden is, is het budget voor Schouwen-Duiveland om binnen 1,5 graden opwarming te blijven op. We kijken in deze factsheet dan ook naar het resterende budget om binnen 2 graden opwarming te blijven. Dit zodat inwoners in Schouwen-Duiveland zo goed mogelijk kunnen bijdragen om wereldwijd binnen het budget voor 1,5 graden opwarming te blijven.

In de factsheets tellen we de emissies van verschillende categorieën op en laten we zien hoe de verschillende keuzes die inwoners van Schouwen-Duiveland kunnen maken, relateren tot het CO₂-budget. We laten hierbij twee situaties zien:

1. De huidige emissies van een representatieve inwoner.
2. De emissies van een inwoner die de meest duurzame keuzes maken.

We laten ter illustratie ook de emissies zien van de onderwerpen waaraan niet is gerekend in deze studie, zoals het kopen van spullen en vliegreizen.

Naast de inwoners hebben bedrijven in de gemeente ook een klimaatimpact. De totale klimaatimpact van de bedrijven in de gemeente hebben we verdeeld naar de inwoners en bij de klimaatimpact van de inwoners opgeteld.

9.1 Aannames

Om een beeld te geven van de klimaatimpact van een Schouwen-Duivelanders hebben we een aantal aannames moeten maken. Volgens onze aannames woont de representatieve inwoner in een vrijstaande woning die verwarmd wordt met een hr-ketel. De vrijstaande woning heeft een gemiddeld gasverbruik van 1.980 m³. De hr-ketel is voor 2020 aangeschaft.

De inwoner rijdt 9.250 km in een benzine auto, 200 km met de bus en 1.000 km met de fiets. De inwoner heeft de auto en fiets voor 2020 aangeschaft. De inwoner eet volgens het gemiddelde dieet in Nederland.

De inwoner die de meest duurzame keuzes maakt woont in een appartement. De inwoner kiest ervoor te isoleren met biobased isolatiemateriaal en stapt over op een warmtenet. Deze inwoner heeft geen eigen auto, maar maakt incidenteel gebruik van een elektrische deelauto, bijvoorbeeld om familie in het oosten van Nederland op te zoeken. Deze inwoner rijdt gemiddeld 2.000 km per jaar in de deelauto. Voor kortere ritten schaft deze inwoner een elektrische fiets aan als vervanging voor de auto en bus. Hiermee rijdt de inwoner 5.000 km per jaar. De inwoner eet volledig veganistisch.



Naast de inwoners hebben bedrijven in de gemeente ook een klimaatimpact. De totale klimaatimpact van de bedrijven in de gemeente hebben we verdeeld naar de inwoners en bij de klimaatimpact van de inwoners opgeteld. Deze impact is gelijk voor beide situaties.

9.2 Aandachtspunten methode

Bij de klimaatimpact per inwoner laten we ook de klimaatimpact zien van categorieën waaraan voor dit onderzoek niet is gerekend. Dit zijn de categorieën: spullen, vliegen, kleding en textiel, badkamer, afval en uitstoot bedrijven. Het is aannemelijk dat de klimaatimpact van deze categorieën afneemt in de toekomst, bijvoorbeeld door gedragsverandering (mensen kopen minder spullen of vliegen minder) of door verduurzaming van andere sectoren (spullen worden duurzamer gemaakt waardoor de klimaatimpact lager is). Deze daling in de klimaatimpact is niet kwantitatief gemaakt en kunnen we dus niet laten zien de figuren.

Het is goed mogelijk dat emissies uit verschillende categorieën uit de figuren overlappen. In dit onderzoek hebben we deze overlap zo goed mogelijk eruit gehaald, echter is de kans aanwezig dat er nog steeds overlap is tussen de categorieën. Een voorbeeld ter illustratie: stel een inwoner koopt groenten die op Schouwen-Duiveland zijn verbouwd. De emissies voor het verbouwen van deze groenten zitten in dit geval zowel in de categorie voedsel als in de uitstoot van bedrijven in de gemeenten.

Verwijzingen

- Anders Nordelöf, Mia Romare & Johan Tivander, 2019. *Life cycle assessment of city buses powered by electricity, hydrogenated vegetable oil or diesel*, Gothenburg: Elsevier Ltd.
- Bureau Waardenburg, 2018. *Blue Carbon in Nederlandse kwelders: Resultaten van vier kwelders in beheergebieden van Natuurmonumenten*, Culemborg: Bureau Waardenburg.
- CBS, 2023 *Logiesaccommodaties; gasten, overnachtingen, bezettingsgraad, kerncijfers* [Online] <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/82058NED/table?dl=73171>.
- CE Delft, 2014. *Bijlagenrapport van Goed informeren van Vlaamse consumenten over de milieu-impact van voeding*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2020. *LCA drie typen personenauto's - Een vergelijking van een benzineauto, batterij-elektrische auto en een waterstofauto*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2022a. *CO2-nulmeting Schouwen-Duiveland: Scope 1-, 2- en 3-emissies*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2022b. *Ketenemissies elektriciteit: Actualisatie elektriciteitsmix 2019*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2023. *STREAM Personenvervoer. Emissiekentallen modaliteiten 2022*, Delft: CE Delft.
- Cochebat, 2021. *FDES Plancher Chauffant Rafrâichissant Basse Température*, Paris: Cochebat.
- de Bortoli, A., 2021. Environmental performance of shared micromobility and personal alternatives using integrated modal LCA. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 93, 102743.
- ECW, 2022 *Isoleren* [Online] <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/technische+oplossingen/techniek+factsheets+gebouwmaatregelen/isoleren/default.aspx> 28-03-2023.
- Hallström, E., Carlsson-Kanyama, A. & Börjesson, P., 2015. Environmental impact of dietary change: a systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 91, 1-11.
- Hogeschool Saxion, 2020. *Compartimenteren woningen met binnen isolatie op maat (Openbaar eindrapport)*, Enschede: Hogeschool Saxion.
- Interreg North Sea Region, *Top 5 Carbon farming technieken: Slimme technieken voor koolstofvastlegging in Nederlandse bodems*.
- IPCC, 2014. *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands (Methodological Guidance on Lands with Wet and Drained Soils, and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment)*, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC, 2021. *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group 1 to the Sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge/New York: Cambridge University Press.
- Kadaster, lopend. *Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG)*, February 2022 <https://www.kadaster.nl/zakelijk/registraties/basisregistraties/bag> 2022.
- Kenniscentrum Recreatie, 2011. *Bijlage bij behoefteonderzoek recreatiewoningen gemeente Schouwen-Duiveland*, Den Haag: Kenniscentrum Recreatie.
- Milieu Centraal, 2023a. *Deelauto van bedrijf of buurtgenoot*, <https://www.milieucentraal.nl/duurzaam-vervoer/autodelen-en-huren/deelauto-van-bedrijf-of-buurtgenoot/#:~:text=Autodelers%20maken%20ongeveer%2020%25%20minder,zijn%20en%20minder%20brandstof%20gebruiken>.



- Milieu Centraal, 2023b. *Gemiddeld energieverbruik*, Milieu Centraal, <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/inzicht-in-je-energierekening/gemiddeld-energieverbruik/> 2 februari 2022.
- Milieu Centraal, lopend. *Kosten en opbrengst zonnepanelen*, <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/zonnepanelen/kosten-en-opbrengst-zonnepanelen/>.
- Mobitool, 2020. *mobitool-Factoren v2.1*, Thun.
- Müller et al, 2021. *A comparative life cycle assessment of silicon PV modules: Impact of module design, manufacturing location and inventory*: Elsevier.
- Nabuurs, G. J. & Verkaik, E., 1999. De 10 meest gestelde vragen over koolstofvastlegging in bos. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift*, 1999, 2-5.
- NIOZ, 2020. *Blue Carbon in het Verdrongen Land van Zuid-Beveland*, Yerseke: Royal Netherlands Institute for Sea Research.
- Over Morgen, 2022. *Addendum rapportage Duurzame warmte Malta, verdieping CO2 bijdrage*, Amersfoort: Overmorgen.
- PBL, 2019a. *Dagelijkse kost : Hoe overheden, bedrijven en consumenten kunnen bijdragen aan een duurzaam voedselsysteem*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- PBL, 2019b. *Kwantificering van de effecten van verschillende maatregelen op de voetafdruk van de Nederlandse Voedselconsumptie*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- PBL, 2022. *Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2022*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- PBL, TNO & DNV, 2021. *Conceptadvies basisbedragen SDE++ 2022*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- Remeha, B. T. G., 2022. *PEP Remeha Avanta Ace (Netherlands)*: PEP Ecopassport.
- Rijkswaterstaat, lopend-a. *Klimaatmonitor, data energiegebruik gebouwde omgeving*, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, https://klimaatmonitor.databank.nl/Jive?workspace_guid=f9a24f3b-b8a0-4b65-a8c3-c0f21000e473 2019.
- Rijkswaterstaat, lopend-b *Klimaatmonitor: Gasverbruik Gebouwde Omgeving* [Online] https://klimaatmonitor.databank.nl/Jive?workspace_guid=65ea2678-f70f-4f0d-ba3d-c20448124d40.
- RVO, 2017. *Referentie gebouwen BENG (Bijna EnergieNeutrale Gebouwen)*, Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).
- RVO, 2021. *Standaard en streefwaarden voor woningisolatie*, RVO, <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/standaard-en-streefwaarden-voor-woningisolatie>.
- RVO, 2023. *Voorbeeldwoningen 2022*, Den Haag: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- Seves, S. M., Verkaik-Kloosterman, J., Biesbroek, S. & Temme, E. H., 2017. Are more environmentally sustainable diets with less meat and dairy nutritionally adequate? *Public Health Nutr*, 20, 2050-2062.
- Slim Landgebruik, 2021. *Beleidssamenvatting 2019: Programma Slim Landgebruik*, Wageningen: Slim Landgebruik.
- Slim Landgebruik, 2022. *CO₂Bodem: Tussenresultaten Slim Landgebruik*, Wageningen: Slim Landgebruik.
- Slim Landgebruik, 2023. *Maatregelen Akkerbouw*, <https://slimlandgebruik.nl/maatregelen/akkerbouw> 05-05-2023.
- Stoessel, F., Juraske, R., Pfister, S. & Hellweg, S., 2012. Life Cycle Inventory and Carbon and Water FoodPrint of Fruits and Vegetables: Application to a Swiss Retailer. *Environmental Science & Technology*, 46, 3253-3262.
- TNO, 2021. *Een verkenning van het potentieel van tijdelijke CO₂-opslag bij houtbouw*, Utrecht: TNO.



- Vaillant GmbH**, 2021. *EPD Vaillant aroTHERM Split VWL /5 AS & uniTOWER VWL /5 IS*, Berlijn: Kiwa-Ecobility Experts.
- Van Dooren, C., Marinussen, M., Blonk, H., Aiking, H. & Vellinga, P.**, 2014. Exploring dietary guidelines based on ecological and nutritional values: A comparison of six dietary patterns. *Food Policy*, 44, 36-46.
- Verhagen, T. J., Cetinay, H. I., van der Voet, E. & Sprecher, B.**, 2022. Transitioning to Low-Carbon Residential Heating: The Impacts of Material-Related Emissions. *Environmental Science & Technology*.
- W/E Adviseurs**, 2016. *Klimaatwinst door Bouwen in hout*, Utrecht: W/E adviseurs.
- ZLTO**, lopend *Carbon Farming: koolstofboeren in Zeeland* [Online] <https://www.zlto.nl/projecten/carbon-farming> 20 maart 2023.

