



LCA-rapportage categorie 3 data

B&U Elementgroep [30000]:
LCA Rapportage milieuverklaringen
Update Energiedragers 3 – Warmtelevering
Nationale Milieudatabase

Warmtelevering via warmtenet, Nederlandse mix, HT
Warmtelevering via warmtenet, Nederlandse mix, LT
Warmtelevering, aftapwarmte afvalverwerkingsinstallatie (AVI), mix
fossiel/hernieuwbaar, HT
Warmtelevering, aquathermie (TEO), LT
Warmtelevering, aardwarmte (2.000 m diep), HT
Warmtelevering, bio-energie (59% biogas, 41% vaste biomassa), HT
Warmtelevering, elektriciteitscentrale (gas), STEG met WKK, HT
Warmtelevering, piekketel (aardgas), HT
Warmtelevering, piekketel (aardgas), LT
Warmtelevering, restwarmte uit industrie, HT
Warmtelevering, restwarmte uit industrie, LT
Warmtelevering, warmte-koude-opslag (WKO), LT
Materialisatie infrastructuur warmtelevering

Stichting Nationale Milieudatabase

Versie: 5.0
Datum: 15-4-2026
Plaats: Nieuwegein
Status: Definitief

Colofon

Titel:	LCA-rapportage categorie 3 data B&U Elementgroep 30000. Warmte
Versienummer:	V5.0
Contactpersoon:	Stichting Nationale Milieudatabase
LCA opsteller(s) originele versie:	David van Nunen, Iida Iloniitty, Jeannette Levels-Vermeer, LBP SIGHT
Peer reviewer(s):	Branco Schipper, SGS Search
Markt consultatie:	Nathan, Essent, Vattenfall

Documentbeheer

Datum	Versie	LCA opsteller(s)	Opmerkingen
17-02-2026	1.0	David van Nunen, Iida Iloniitty, Jeannette Levels-Vermeer, LBP SIGHT	
23-02-2026	2.0	David van Nunen, Iida Iloniitty, Jeannette Levels-Vermeer, LBP SIGHT	
09-03-2026	3.0	David van Nunen, Iida Iloniitty, Jeannette Levels-Vermeer, LBP SIGHT	
31-03-2026	4.0	David van Nunen, Iida Iloniitty, Jeannette Levels-Vermeer, LBP SIGHT	
09-04-2026	5.0	David van Nunen, Iida Iloniitty, Jeannette Levels-Vermeer, LBP SIGHT	

Inhoudsopgave

Colofon.....	2
Documentbeheer	2
1. Inleiding	7
1.1 Doelstelling en doelgroep	7
1.2 Definities.....	7
1.3 Verantwoording.....	8
1.4 Actualisatie.....	9
2. Beschouwde elementen, componenten en productvarianten.....	10
2.1 Elementen.....	10
2.2 Producten.....	11
3. Materialisatie & LCI.....	17
3.1 Generieke aannames	17
3.1.1 Leveringstemperaturen warmte	17
3.1.2 Opwaarderen van warmte	17
3.1.3 Transport naar afvalverwerking (C2).....	19
3.1.4 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D).....	20
3.2 Materialisatie warmtenet, distributie	20
3.2.1 Hoge temperatuur warmtenet	20
3.2.2 Lage temperatuur warmtenet.....	22
3.3 Warmtelevering via warmtenet, Nederlandse mix, HT	26
3.3.1 Productiefase (A1-A3)	26
3.3.2 Transportfase (A4)	28
3.4 Warmtelevering, aardwarmte (2000 m diep), HT.....	28
3.4.1 Materialisatie infrastructuur.....	28
3.4.2 Productiefase (A1-A3)	30
3.4.3 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D).....	33
3.5 Warmtelevering, aftapwarmte afvalverwerkingsinstallatie (AVI), mix fossiel/hernieuwbaar, HT 33	
3.5.1 Materialisatie infrastructuur.....	33
3.5.2 Productiefase (A1-A3)	34
3.5.3 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D).....	34
3.6 Warmtelevering, bio-energie (59% biogas, 41% vaste biomassa), HT	34
3.6.1 Materialisatie infrastructuur.....	34
3.6.2 Productiefase (A1-A3)	37
3.6.3 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D).....	37
3.7 Warmtelevering, piekketel (aardgas), HT.....	38
3.7.1 Materialisatie infrastructuur.....	38
3.7.2 Productiefase (A1-A3)	39
3.7.3 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D).....	40
3.8 Warmtelevering, restwarmte, HT/LT.....	40
3.8.1 Materialisatie infrastructuur.....	40
3.8.2 Productiefase (A1-A3)	41
3.8.3 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D).....	41
3.9 Warmtelevering, elektriciteitscentrale (gas), STEG met WKK, HT.....	42
3.9.1 Materialisatie infrastructuur.....	42
3.9.2 Productiefase (A1-A3)	43
3.9.3 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D).....	43

3.10	Warmtelevering via warmtenet, Nederlandse mix, LT.....	43
3.10.1	Productiefase (A1-A3)	44
3.10.2	Transportfase (A4)	44
3.11	Warmtelevering, aquathermie (TEO), LT.....	45
3.11.1	Materialisatie infrastructuur.....	45
3.11.2	Productiefase (A1-A3)	50
3.11.3	Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D).....	50
3.12	Warmtelevering, warmte-koude-opslag (WKO), LT	51
3.12.1	Materialisatie infrastructuur.....	51
3.12.2	Productiefase (A1-A3)	57
3.12.3	Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D).....	58
3.13	Warmtelevering WLC-GWP	60
4.	Milieuprestatie producten (LCA).....	61
4.1	Milieuprofielen en MKI per product.....	61
4.2	Zwaartepuntanalyse: duiding van de resultaten	61
4.3	Gevoeligheidsanalyse.....	61
4.3.1	Impact distributiepompen materialisatie HT-warmtenet.....	61
4.3.2	Alternatieve samenstelling HT-warmtebronnen Nederlandse mix.....	62
5.	Referenties	64
	Bijlagen.....	65
	Bijlage 1: Databronnen per milieuverklaring.....	65
	Bijlage 2: Opbouw van milieuverklaringen per module.....	66

Milieuverklaringen in deze rapportage

[NL- SfB nr]		[NL-SfB naam]	
ID	Producten	Eenheid	Schaling
	Warmtelevering via warmtenet, Nederlandse mix, HT	kWh	
	Warmtelevering via warmtenet, Nederlandse mix, LT	kWh	
	Warmtelevering, aftapwarmte afvalverwerkingsinstallatie (AVI), mix fossiel/hernieuwbaar, HT	kWh	
	Warmtelevering, aquathermie (TEO), LT	kWh	
	Warmtelevering, aardwarmte (2.000 m diep), HT	kWh	
	Warmtelevering, bio-energie (59% biogas, 41% vaste biomassa), HT	kWh	
	Warmtelevering, elektriciteitscentrale (gas), STEG met WKK, HT	kWh	
	Warmtelevering, piekkel (aardgas), HT	kWh	
	Warmtelevering, piekkel (aardgas), LT	kWh	
	Warmtelevering, restwarmte, HT	kWh	
	Warmtelevering, restwarmte, LT	kWh	
	Warmtelevering, warmte-koude-opslag (WKO), LT	kWh	

Wijzigingenregister

Datum	Versie	Opsteller, peer reviewer, marktconsultatie	Naam gewijzigde MV	ID	Toelichting wijziging
31-3-2026	4.0	Iida Iloniitty	Warmtelevering, aquathermie (TEO), LT Warmtelevering, aardwarmte (2.000 m diep), HT Warmtelevering, restwarmte, HT Warmtelevering, restwarmte, LT Warmtelevering, warmte-koude-opslag (WKO), LT		Boosterwarmtepomp toegevoegd of weggehaald Elektriciteitsverbruik en COP warmtepompen aangepast
09-04-2026	5.0	Iida Iloniitty	Warmtelevering, warmte-koude-opslag (WKO), LT		Materialisatie boosterwarmtepomp toegevoegd
09-04-2026	5.0	Iida Iloniitty	Warmtelevering, bio-energie, HT		Verhoudingen aangepast

1. Inleiding

Deze LCA-rapportage beschrijft de uitgangspunten en resultaten voor de categorie 3a data voor B&U Elementgroep 30000. H4 Warmte/Koude B6, 30010. H4 Warmte/Koude D2 en NL/SfB 56.2 in de Nationale Milieudatabase.

De B&U-data in de Nationale Milieudatabase wordt gebruikt voor het berekenen van de materiaalgebonden milieuprestatie van bouwwerken (MPG-berekening). De milieuprestatie wordt berekend door middel van de bepalingen in de 'Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken'. Met rekeninstrumenten kan met behulp van de Nationale Milieudatabase de MPG-berekening voor een bouwwerk berekend worden. Zie voor meer informatie de website van Stichting NMD: www.milieudatabase.nl.

1.1 Doelstelling en doelgroep

Doel

De opgave is om met de beschikbare categorie 3a milieuverklaringen tot een MPG-invoer en WLC-GWP invoer te kunnen komen, die het werkelijke gebouw(ontwerp) afdoende representeert.

In dit rapport wordt de samenstelling van warmte- en koudelevering onderbouwd die onderdeel zijn van elementgroepcodes Energie 30000 voor warmte- en koudelevering en 30010. H4 Warmte/Koude D2 en NL/SfB 56.2 voor de materialisatie externe levering oftewel materialisatie infrastructuur.

Doelgroep

De studie is opgesteld voor de volgende doelgroepen:

- Stichting NMD als beheerder van de Nationale Milieudatabase (NMD).
- Opdrachtgevers in de B&U-sector als basis voor referentieontwerpen, verkennende (ontwerp)studies en voor gebruik in aanbestedingen.
- Marktpartijen zoals ingenieurs- en adviesbureaus en aannemers actief in de B&U-sector als informatiebron voor het gebruik van de NMD-data via rekeninstrumenten.
- Opstellers van LCA's om inzicht te krijgen in de uitgangspunten van de categorie 3 data.

1.2 Definities

De belangrijkste definities voor dit rapport worden weergegeven in onderstaande tabel.

Term	Betekenis
Elementgroep	De eerste twee cijfers van de elementen in een bouwwerk zijn gecodeerd volgens NL-SfB
Element	Verdere opdeling van een elementgroep:
Component	Uitsplitsing van een element in belangrijkste onderdelen die nodig zijn om samen het element te vormen
Product	Samenstelling van meerdere, een enkel of een deel van een component. Ieder product heeft zijn eigen milieuverklaring. Per product dient duidelijk te worden beschreven wat er in zit en welke element en component het afdekt

Productvarianten	Uitvoeringsvarianten van een specifiek product, zoals een breedplaatvloer
Milieuverklaring	Informatie en milieudata over een product of proces die verkregen is uit een levenscyclusanalyse (materialen, hoeveelheden per FE, levensduren (cycli), emissies gebruiksfase, bouwafval, verwerkingsscenario einde leven)
Productsamenstellingen of compleet product	Milieuverklaring, die een compleet element afdekt

1.3 Verantwoording

Eisen en richtlijnen

De LCA is uitgevoerd conform de eisen en richtlijnen uit het "Protocol Initiëren, opstellen en peer reviews categorie 3 data", welke in lijn is met de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken. De Bepalingsmethode is gebaseerd op de vigerende versies van de ISO 14040 – ISO14044 en de NEN-EN 15804-A2). Bij het uitvoeren is gebruik gemaakt van de databronnen zoals benoemd in Bijlage 1.

Systeemgrenzen

In dit LCA-dossier is de milieu-impact over de gehele levenscyclus meegenomen:

Productiefase	A1	X	Winning van grondstoffen
	A2	X	Transport
	A3	X	Productie
Bouwfase	A4	X	Transport
	A5	X	Bouw- en installatieproces, aanleg
Gebruiksfase	B1	X	Gebruik
	B2	X	Onderhoud
	B3	X	Reparaties
	B4	X	Vervangingen
	B5	ND	Vernieuwing
	B6	ND	Operationeel energiegebruik
	B7	ND	Operationeel watergebruik
Sloop- en verwerkingsfase	C1	X	Sloop
	C2	X	Transport
	C3	X	Afvalbewerking
	C4	X	Finale afvalbewerking
Milieulasten en -baten buiten de systeemgrens van het bouwwerk	D	X	Mogelijkheden voor hergebruik, terugwinning en recycling

X: Module meegenomen in LCA-studie, ND: niet gedeclareerd

Tijdsperiode datacollectie

De LCA is in opdracht van Stichting NMD, uitgevoerd door LBP|SIGHT. De gegevensverzameling heeft plaatsgevonden in de periode van juli 2025 tot en met maart 2026 waarna aansluitend de berekeningen zijn uitgevoerd en het LCA-dossier is opgesteld.

Peer review

Categorie 3 data ondergaat geen volledige toetsing conform Toetsingsprotocol. Er heeft wel een peer review plaatsgevonden door Branco Schipper van SGS Search. In deze toetsing is gekeken naar o.a. de uitgangspunten van productsamenstelling en materiaalgebruik op basis van ontwerp- en praktijkkennis. Ook is de rekenwijze gecontroleerd. Peer review heeft plaatsgevonden conform *"Protocol Initiëren, opstellen en peer reviewen categorie 3 data"*.

Klachten

De Milieuverklaringen zoals deze op basis van deze studie zijn ingevoerd, zijn in beheer bij Stichting NMD. De studie is zorgvuldig uitgevoerd. Indien een derde van mening is dat de ingevoerde productkaarten en/of de onderhavige rapportage fouten bevatten, dan kan er een verzoek tot rectificatie worden ingediend bij Stichting NMD. Deze zal een dergelijk verzoek conform haar procedures afwikkelen. Hiervoor kan een e-mail gestuurd worden aan info@milieudatabase.nl.

1.4 Actualisatie

Categorie 3 data worden automatisch geactualiseerd als Stichting NMD de NMD-basisprocessendatabase actualiseert, bijvoorbeeld als gevolg van een update van de EcolInvent database of wijziging in verwerking-scenario's einde leven. Dit kan betekenen dat de waarden die in deze rapportage zijn beschreven, zullen verouderen. In dit rapport staat beschreven welke versies van de NMD-Basisprocessendatabase en van de Bepalingsmethode zijn gebruikt voor het opstellen van de data en deze rapportage. De meest actuele categorie 3 data kunnen altijd ingezien worden in de gevalideerde rekeninstrumenten of de viewer van Stichting NMD.

2. Beschouwde elementen, componenten en productvarianten

De opgave is om met de beschikbare categorie 3 milieuverklaringen tot een WLC-GWP-invoer en MPG-invoer te kunnen komen, die het werkelijke gebouw(ontwerp) afdoende representeert. In dit hoofdstuk wordt uiteengezet op welke wijze dit is uitgewerkt. Beschreven is welke type elementen in de elementgroepen zijn meegenomen en uit welke componenten ze kunnen bestaan.

NMD-milieuverklaringen voor energiedragers vallen onder categorie 3a, zonder opslag. Invoer van de milieuverklaringen gaat op basis van NMD-basisprocessen, deze worden periodiek geüpdatet of bij grote wijzigingen in de energiemix. Let op: voer bij een bouwwerkberekening de jaarlijkse hoeveelheid energielevering in. De levensduur van milieuverklaringen van energiedragers is 1 jaar, het rekeninstrument vermenigvuldigt dit met de gebouwlevensduur, of de beschouwingsperiode. De impact na jaar 1 van operationeel energiegebruik wordt ook gedeclareerd in module B6 van de gebouwberekening.

Als gedeclareerde eenheid is kWh gekozen, in plaats van de gebruikelijke MJ voor warmte. We hebben deze keuze gemaakt om de milieuverklaringen beter te laten aansluiten bij de NTA8800 (BENG) berekeningen, waarbij alle exports ook in kWh komen. De omrekenfactor naar megajoule is 0,278 omdat per elke kWh 3,6 MJ nodig is (dus $1/3,6 = 0,278$ MJ).

2.1 Elementen

Classificatiecode	Titel	Bijbehorende milieuverklaringen
NL/SfB 56.2	Warmte opwekking; centraal	Materialisatie infrastructuur warmtelevering: - Nederlandse mix HT - Nederlandse mix LT - Aardwarmte - Aquathermie (TEO) - AVI - Bio-energie - Piekketel, aardgas - Restwarmte - STEG met WKK - Warmte-koude-opslag (WKO)
Energie 30000.	H4 Warmte/Koude B6	- Nederlandse mix HT - Nederlandse mix LT - Aardwarmte - Aquathermie (TEO) - AVI - Bio-energie - Piekketel, aardgas - Restwarmte - STEG met WKK - Warmte-koude-opslag (WKO)
Energie 30020.	WLC-GWP Warmte/Koude B6	Kopie van 30000 met WLC-elektriciteitsmix: - Nederlandse mix LT

		- Nederlandse mix HT - Aardwarmte - Aquathermie (TEO) - AVI - Bio-energie - Piekketel, aardgas - Restwarmte - STEG met WKK - Warmte-koude-opslag (WKO)
--	--	--

2.2 Producten

Productnaam	Warmtelevering via warmtenet, Nederlandse mix, hoge temperatuur, bij consument, per kWh
Classificatie	30000: H4 Warmte/Koude B6
Omschrijving	Milieuprofiel energiedrager Warmtelevering via warmtenet, Nederlandse mix, hoge temperatuur, bij consument, per kWh. Categorie 3a, zonder opslag. Dit milieuprofiel omvat winning, opwekking en transport (inclusief verliezen) van hoge temperatuur warmte (80 °C) bij gebruik door de consument en module D baten/lasten buiten systeemgrenzen voor verwerking van infrastructuur (EN 15804 modules A1-A3, A4 en D). Verdere opwaardering in de woning of andere gebruiksfunctie is normaliter niet nodig.
Eenheid	kWh
Levensduur	1 jaar
Categorie	3a
Toepassingsgebied(en)	B&U
Productnaam	Warmtelevering via warmtenet, Nederlandse mix, lage temperatuur, bij consument, per kWh
Classificatie	30000: H4 Warmte/Koude B6
Omschrijving	Milieuprofiel energiedrager Warmtelevering via warmtenet, Nederlandse mix, lage temperatuur, bij consument, per kWh. Categorie 3a, zonder opslag. Dit milieuprofiel omvat winning, opwekking en transport (inclusief verliezen) van lage temperatuur warmte (40 °C) bij gebruik door de consument en module D baten/lasten buiten systeemgrenzen voor verwerking van infrastructuur (EN 15804 modules A1-A3, A4 en D).
Eenheid	kWh
Levensduur	1 jaar
Categorie	3a
Toepassingsgebied(en)	B&U
Productnaam	Warmtelevering, aardwarmte (2.000 m diep), hoge temperatuur, bij consument, per kWh

Classificatie	30000: H4 Warmte/Koude B6
Omschrijving	Milieuprofiel energiedrager Warmtelevering, aardwarmte (2.000 m diep), hoge temperatuur, bij consument, per kWh. Categorie 3a, zonder opslag. Dit milieuprofiel omvat winning, opwekking en transport (inclusief verliezen) van hoge temperatuur aardwarmte (80 °C) bij gebruik door de consument en module D baten/lasten buiten systeemgrenzen voor verwerking van infrastructuur (EN 15804 modules A1-A3, A4 en D).
Eenheid	kWh
Levensduur	1 jaar
Categorie	3a
Toepassingsgebied(en)	B&U
Productnaam	Warmtelevering, aftapwarmte afvalverwerkingsinstallatie (AVI), mix fossiel/hernieuwbaar, hoge temperatuur, bij consument, per kWh
Classificatie	30000: H4 Warmte/Koude B6
Omschrijving	Milieuprofiel energiedrager Warmtelevering, aftapwarmte afvalverwerkingsinstallatie (AVI), mix fossiel/hernieuwbaar, hoge temperatuur, bij consument, per kWh. Categorie 3a, zonder opslag. Dit milieuprofiel omvat winning, opwekking en transport (inclusief verliezen) van hoge temperatuur warmte (80 °C) uit AVI bij gebruik door de consument en module D baten/lasten buiten systeemgrenzen voor verwerking van infrastructuur (EN 15804 modules A1-A3, A4 en D). Verdere opwaardering in de woning of andere gebruiksfunctie is normaliter niet nodig.
Eenheid	kWh
Levensduur	1 jaar
Categorie	3a
Toepassingsgebied(en)	B&U
Productnaam	Warmtelevering, aquathermie (TEO), lage temperatuur, bij consument, per kWh
Classificatie	30000: H4 Warmte/Koude B6
Omschrijving	Milieuprofiel energiedrager Warmtelevering, aquathermie (TEO), lage temperatuur, bij consument, per kWh. Categorie 3a, zonder opslag. Dit milieuprofiel omvat winning, opwekking, opwaardering en transport (inclusief verliezen) van lage temperatuur warmte en koude (40 °C) uit oppervlaktewater, inclusief Open Bodem Energie Systeem, bij gebruik door de consument en module D baten/lasten buiten systeemgrenzen voor verwerking van infrastructuur (EN 15804 modules A1-A3, A4 en D). Een boosterwarmtepomp is inbegrepen in het net voor de levering van 40 °C, verdere opwaardering in de woning of andere gebruiksfunctie is niet inbegrepen.
Eenheid	kWh

Levensduur	1 jaar
Categorie	3a
Toepassingsgebied(en)	B&U
Productnaam	Warmtelevering, bio-energie (59% biogas, 41% vaste biomassa), hoge temperatuur, bij consument, per kWh
Classificatie	30000: H4 Warmte/Koude B6
Omschrijving	Milieuprofiel energiedrager Warmtelevering, bio-energie (59% biogas, 41% vaste biomassa), hoge temperatuur, bij consument, per kWh. Categorie 3a, zonder opslag. Dit milieuprofiel omvat winning, opwekking en transport (inclusief verliezen) van hoge temperatuur warmte (80 °C) uit bio-energie bij gebruik door de consument en module D baten/lasten buiten systeemgrenzen voor verwerking van infrastructuur (EN 15804 modules A1-A3, A4 en D). Verdere opwaardering in de woning of andere gebruiksfunctie is normaliter niet nodig.
Eenheid	kWh
Levensduur	1 jaar
Categorie	3a
Toepassingsgebied(en)	B&U
Productnaam	Warmtelevering, elektriciteitscentrale (gas), STEG met WKK, hoge temperatuur, bij consument, per kWh
Classificatie	30000: H4 Warmte/Koude B6
Omschrijving	Milieuprofiel energiedrager Warmtelevering, elektriciteitscentrale (gas), STEG met WKK, hoge temperatuur, bij consument, per kWh. Categorie 3a, zonder opslag. Dit milieuprofiel omvat winning, opwekking en transport (inclusief verliezen) van hoge temperatuur warmte (80 °C) uit STEG bij gebruik door de consument en module D baten/lasten buiten systeemgrenzen voor verwerking van infrastructuur (EN 15804 modules A1-A3, A4 en D). Verdere opwaardering in de woning of andere gebruiksfunctie is normaliter niet nodig.
Eenheid	kWh
Levensduur	1 jaar
Categorie	3a
Toepassingsgebied(en)	B&U
Productnaam	Warmtelevering, piekkel (aardgas), hoge temperatuur, bij consument, per kWh
Classificatie	30000: H4 Warmte/Koude B6
Omschrijving	Milieuprofiel energiedrager Warmtelevering, piekkel (aardgas), hoge temperatuur, bij consument, per kWh. Categorie 3a, zonder opslag. Dit milieuprofiel omvat winning, opwekking en transport (inclusief verliezen) van hoge temperatuur warmte (80 °C) uit piekkel bij gebruik door de consument en module D baten/lasten buiten systeemgrenzen voor verwerking van infrastructuur (EN 15804 modules A1-A3, A4 en D). Verdere opwaardering in de woning of andere gebruiksfunctie is normaliter niet nodig.

	A4 en D). Verdere opwaardering in de woning of andere gebruiksfunctie is normaliter niet nodig.
Eenheid	kWh
Levensduur	1 jaar
Categorie	3a
Toepassingsgebied(en)	B&U
Productnaam	Warmtelevering, piekkel (aardgas), lage temperatuur, bij consument, per kWh
Classificatie	30000: H4 Warmte/Koude B6
Omschrijving	Milieuprofiel energiedrager Warmtelevering, piekkel (aardgas), lage temperatuur, bij consument, per kWh. Categorie 3a, zonder opslag. Dit milieuprofiel omvat winning, opwekking en transport (inclusief verliezen) van lage temperatuur warmte (40 °C) uit piekkel bij gebruik door de consument en module D baten/lasten buiten systeemgrenzen voor verwerking van infrastructuur (EN 15804 modules A1-A3, A4 en D).
Eenheid	kWh
Levensduur	1 jaar
Categorie	3a
Toepassingsgebied(en)	B&U
Productnaam	Warmtelevering, restwarmte, hoge temperatuur, bij consument, per kWh
Classificatie	30000: H4 Warmte/Koude B6
Omschrijving	Milieuprofiel energiedrager Warmtelevering, restwarmte, hoge temperatuur, bij consument, per kWh. Categorie 3a, zonder opslag. Dit milieuprofiel omvat winning, opwekking, opwaardering en transport (inclusief verliezen) van hoge temperatuur restwarmte (80 °C) bij gebruik door de consument en module D baten/lasten buiten systeemgrenzen voor verwerking van infrastructuur (EN 15804 modules A1-A3, A4 en D). Een boosterwarmtepomp is inbegrepen in het systeem voor de aflevert temperatuur van 80 °C, verdere opwaardering in de woning of andere gebruiksfunctie is normaliter niet nodig.
Eenheid	kWh
Levensduur	1 jaar
Categorie	3a
Toepassingsgebied(en)	B&U
Productnaam	Warmtelevering, restwarmte, lage temperatuur, bij consument, per kWh
Classificatie	30000: H4 Warmte/Koude B6
Omschrijving	Milieuprofiel energiedrager Warmtelevering, restwarmte, lage temperatuur, bij consument, per kWh. Categorie 3a, zonder opslag. Dit milieuprofiel omvat winning, opwekking, opwaardering en transport (inclusief verliezen) van lage

	temperatuur restwarmte (40 °C) bij gebruik door de consument en baten/lasten van verwerking infrastructuur (EN15804 modules A1-A3, A4 en D). Een boosterwarmtepomp is inbegrepen in het net voor de levering van 40 °C, verdere opwaardering in de woning of andere gebruiksfunctie is niet inbegrepen.
Eenheid	kWh
Levensduur	1 jaar
Categorie	3a
Toepassingsgebied(en)	B&U
Productnaam	Warmtelevering, warmte-koude-opslag (WKO), open/gesloten systeem, lage temperatuur, bij consument, per kWh
Classificatie	30000: H4 Warmte/Koude B6
Omschrijving	Milieuprofiel energiedrager Warmtelevering, warmte-koude-opslag (WKO), open/gesloten systeem, lage temperatuur, bij consument, per kWh. Categorie 3a, zonder opslag. Dit milieuprofiel omvat winning, opwekking en transport (inclusief verliezen) van lage temperatuur warmte uit gemiddeld open/gesloten warmte-koudeopslag (40 °C) bij gebruik door de consument en baten/lasten van verwerking infrastructuur (EN15804 modules A1-A3, A4 en D). Een boosterwarmtepomp is inbegrepen in het net voor de levering van 40 °C, verdere opwaardering in de woning of andere gebruiksfunctie is niet inbegrepen.
Eenheid	kWh
Levensduur	1 jaar
Categorie	3a
Toepassingsgebied(en)	B&U
Productnaam	Materialisatie infrastructuur
Classificatie	56.2: warmte opwekking; centraal - Nederlandse mix HT - Nederlandse mix LT - Aardwarmte - Aquathermie (TEO) - AVI - Bio-energie - Piekketel, aardgas - Restwarmte - STEG met WKK - Warmte-koude-opslag (WKO)
Omschrijving	"Productomschrijving van milieuverklaring zoals bovenstaand" + Materialisatie infrastructuur (externe levering) Categorie 3a, zonder opslag. Dit milieuprofiel omvat materialisatie van de infrastructuur voor winning, opwekking, (opwaardering) en transport van warmte bij gebruik door de consument en module D baten/lasten buiten systeemgrenzen

	voor verwerking van infrastructuur (EN 15804 modules A1-A3, A4 en D).
Eenheid	kWh
Levensduur	1 jaar
Categorie	3a
Toepassingsgebied(en)	B&U
Productnaam	WLC-GWP Warmte/Koude B6
Classificatie	30020. H4 Warmte/Koude B6 - Nederlandse mix HT - Nederlandse mix LT - Aardwarmte - Aquathermie (TEO) - AVI - Bio-energie - Piekketel, aardgas - Restwarmte - STEG met WKK - Warmte-koude-opslag (WKO)
Omschrijving	"Productomschrijving van milieuverklaring zoals bovenstaand" + Voor de WLC-GWP is gerekend met het specifieke WLC-GWP elektraprofiel voor het operationele energieverbruik van de distributiepompen en warmtepompen in het systeem.
Eenheid	kWh
Levensduur	1 jaar
Categorie	3a
Toepassingsgebied(en)	B&U

3. Materialisatie & LCI

In dit hoofdstuk worden de productbeschrijving, productsamenstelling en de decompositie besproken van de producten.

Voor het bepalen van de productsamenstelling, het materiaalgebruik en de bijbehorende processen is gebruik gemaakt van generieke en gemiddelde producten en processen, welke representatief zijn voor het product. Voor ieder product zijn per module de uitgangspunten en bronnen beschreven en gebaseerd op:

- Forfaitaire achtergrondprocessen, transportafstanden en scenario's conform de NMD Bepalingsmethode;
- Deskresearch, minimaal twee verschillende gedocumenteerde en vastgelegde bronnen, indien beschikbaar;
- Branche data en PCR;
- Expert judgement: praktijkinformatie (B&U-kennis) vanuit de branche, een ingenieursbureau, aannemer, opdrachtgever en/of producent met daarbij een korte onderbouwing van de achtergrond van de expert. Minimaal twee verschillende bronnen indien beschikbaar.

Zie opbouw per warmtebron in Bijlage 2: Opbouw van milieuverklaringen per module.

3.1 Generieke aannames

3.1.1 Leveringstemperaturen warmte

De volgende warmteleveringstemperaturen worden gehanteerd in deze studie:

- Hoge temperatuur warmte: 80 °C
- Lage temperatuur warmte: 40 °C

Er wordt uitgegaan van een constante afgiftetemperatuur.

3.1.2 Opwaarderen van warmte

Bij de volgende bronnen hebben we het opwaarderen van warmte met een boosterwarmtepomp toegepast:

- Aquathermie (TEO), LT
- Restwarmte, LT
- Restwarmte, HT
- WKO, LT

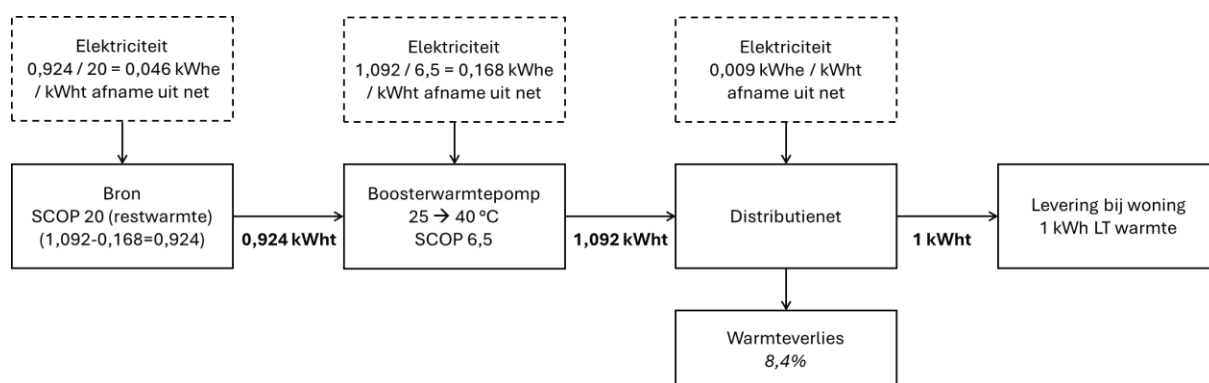
Het opwaarderen betekent dat de temperatuur van de warmte uit de bron wordt verhoogd om het te kunnen benutten in het warmtenet.

De warmtepomp werkt met elektriciteit. Als gemiddelde (Seasonal) COP (Coefficient of Performance) voor de pomp hebben we 6,5 gekozen voor lage temperatuur toepassingen met temperatuurverhoging van 25 (temperatuur van de bron) naar 40 graden en een COP van 4,5 voor de hoge temperatuur boosterwarmtepomp voor verhoging van 50 (temperatuur van de bron) naar 80 graden. Dit betekent dat voor elke 6,5 kWh (LT) of 4,5 kWh (HT) aan geleverde

warmte, de warmtepomp 1 kWh aan elektriciteit gebruikt. Bij de restwarmtebronnen is er in deze configuratie uitgegaan van een bronpomp met een (S)COP van 20.

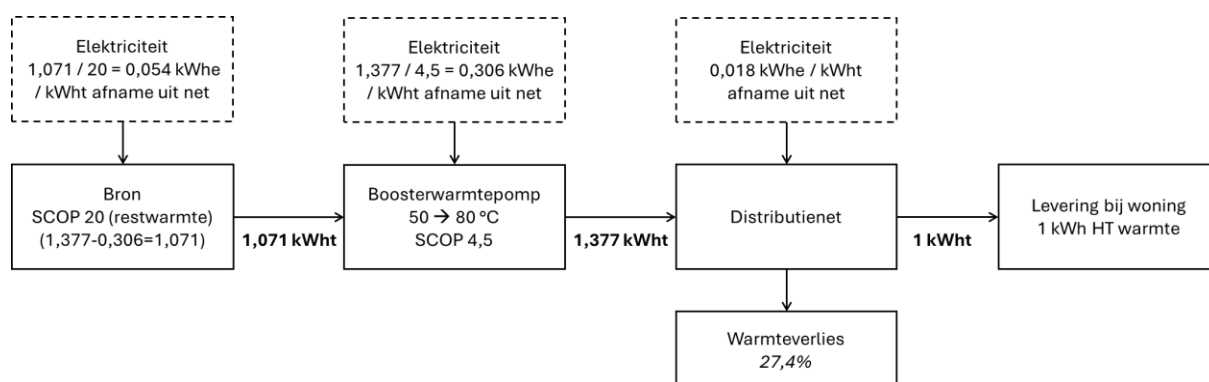
Om de totale input van elektriciteit te berekenen voor de levering van 1 kWh warmte, wordt per onderdeel in de configuratie op basis van warmteverlies en COP berekend hoeveel de benodigde inputs en outputs van warmte, en inputs van elektriciteit zijn. Daarbij wordt de output van de warmtepomp geleverd door optelling van de warmte uit de bron en elektriciteit (arbeid), volgens formule ($Q_{\text{output}} = Q_{\text{input}} + W$). Er wordt aangenomen dat de bron en boosterwarmtepomp dicht bij elkaar staan en er daartussen geen warmteverlies optreedt.

Zie Figuur 3.1 en 3.2 voor overzicht opbouw warmtelevering



Figuur 3.1

Overzicht warmtelevering in het LT-net met warmtepomp inclusief verliezen en elektriciteitsverbruik



Figuur 3.2

Overzicht warmtelevering in het HT-net met warmtepomp inclusief verliezen en elektriciteitsverbruik

Zie Tabel 3.1 voor samenvatting uitgangspunten voor het opwaarderen van warmte per warmtebron.

Tabel 3.1

Uitgangspunten per warmtebron

Milieuverklaring	Type	Opwaardering met warmtepomp in net	COP warmtepomp	Elektriciteitsverbruik boosterpomp	Hoeveelheid bron	Bronwarmtepomp, COP 20
Nederlandse mix LT	LT	Ja, bij TEO en restwarmte	zoals opgenomen bij specifieke bronnen			-
Nederlandse mix HT	HT	Ja, bij restwarmte	zoals opgenomen bij specifieke bronnen			-
Aardwarmte	HT	nee	-	-	1,377	-
Aquathermie (TEO)	LT	ja	6,5	0,168	1,092	-
AVI	HT	nee	-	-	1,377	-
Bio-energie	HT	nee	-	-	1,377	-
Piekketel, aardgas	HT	nee	-	-	1,377	-
Piekketel, aardgas	LT	nee	-	-	1,092	-
Restwarmte	HT	ja	4,5	0,306	1,377	ja
Restwarmte	LT	ja	6,5	0,168	1,092	ja
STEG met WKK	HT	nee	-	-	1,377	-
Warmte-koude-opslag (WKO)	LT	ja	6,5	0,168	1,092	-

3.1.3 Transport naar afvalverwerking (C2)

Voor het transport einde levensduur in C2 is de meegenomen forfaitaire transportafstand afhankelijk van het einde levensscenario van het materiaal, zoals vastgelegd in de Bepalingsmethode. De forfaitaire eindelevensscenario's verschillen per materiaal en hiervoor is aangesloten bij de Bepalingsmethode.

Tabel 3.2

Transportafstanden forfaitaire einde-levensscenario's bepalingmethode

C2 einde leven	Forfaitaire transportafstand	
Laten zitten	0	km
Stort	100	km
AVI	150	km
Recycling	50	km
Hergebruik	50	km

3.1.4 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D)

De afvalverwerking, wat het storten en verbranden voor energie betreft, is al meegenomen in de gebruikte Ecoinvent-processen. Hieraan voegen we toe de recycling en de terugwinning van materiaal.

Per elke productiebron hebben we de meest relevante infrastructuur in kaart gebracht en de afvalverwerking daarvan gemodelleerd. Voor dit hebben we de volgende stappen genomen:

1. We hebben een Netwerk-overzicht gemaakt in SimaPro van het gemodelleerde productieproces A1-A3 (per kWh).
2. Alle relevante infrastructuurprocessen (kapitaalgoederen) binnen MKI afkap van 0,5% hebben we overgenomen in een nieuw proces.
3. Van dit nieuw materialisatieproces hebben we een Netwerk-overzicht gemaakt.
4. Alle relevante materialen binnen MKI afkap van 3% hebben we genoteerd en op basis van NMD-processen een eindelevensscenario bepaald.

3.2 Materialisatie warmtenet, distributie

3.2.1 Hoge temperatuur warmtenet

Voor de transportfase is een inventarisatie gemaakt voor een hoge temperatuur warmtedistributienet, zie Tabel 3.3. De hoeveelheden zijn geschaald per kWh aan warmte afgeleverd bij de consument per jaar en per jaar levensduur van de infrastructuur. De inventarisatie is afkomstig van een wetenschappelijke LCA-studie naar stadswarmtenet in Turijn¹ met STEG als bron en totale warmtelevering van 2.170.000 MWh per jaar. De leidingen hebben een levensduur van 40 jaar.

De buizen in de hoge temperatuur warmtenet van Turijn bestaan uit drie lagen: een stalen kern, een isolatielaag van polyurethaanschuim en een buitenmantel van polyethyleen. In de LCA-studie in kwestie is een gemiddelde buitendiameter van 400 mm en een lineaire massa van 79 kg/m van deze buizen gebruikt. De inventarisatie van deze materialen is overgenomen in de tabel hieronder en berekend per kWh warmte afgeleverd in het systeem per jaar (totale materiaalinput gedeeld door levensduur leidingen en output warmte van het stadswarmtenet) en per jaar levensduur (gedeeld door 40 jaar).

¹ Te vinden op: <https://www.mdpi.com/848182>

Tabel 3.3

Inventarisatie materialisatie HT-warmtenet per kWh afgeleverd bij consument per jaar

Materiaal	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Stalen kern warmteleidingen	0318-fab&Staal, warmgewalst, buis- en kokerprofielen {GLO} (79,0% primair, 21,0% secundair)	1,04E-03 kg
Polyurethaanschuimisolatie warmteleidingen	0460-fab&PUR, flexibel schuim (o.b.v. Polyurethane, flexible foam {RER}) market for polyurethane, flexible foam Cut-off, U)	8,28E-05 kg
Polyethylen buitenmantel pijpleidingen (geëxtrudeerd)	0185-fab&Polyetheen, HDPE, geëxtrudeerd (o.b.v. Polyethylene, high density, granulate {GLO}) market for Cut-off, U & Extrusion, plastic pipes {GLO}) market for Cut-off, U)	1,39E-04 kg
Elektriciteit, productie van leidingen	0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)	1,90E-05 kWh
Aardgas, productie van leidingen	0111-pro&Aardgas, verbrand, bij consument, per m3	1,50E-05 m³
Transport van leidingen naar de bouwplaats	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}) market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	1,89E-04 tkm
Zand voor aanleg leidingen	0168-fab&Zand, industriezand, ophoogzand, betonzand, drainagezand (o.b.v. Sand {RoW}) market for sand Cut-off, U)	1,68E-02 kg
Aanleg leidingen	0335-pro&Dieselverbruik, bouwmachine cat. IIIB, 75-130kW, per l (diesel: 35,9 MJ/liter en 0,832 kg/liter)	1,13E-05 l
Aanleg leidingen	0140-pro&Lassen, staal, arc, per meter (o.b.v. Welding, arc, steel {GLO}) market for Cut-off, U)	6,33E-07 m

De studie gebruikt voor deze materialisatie geeft geen specifieke informatie over de impact van de aanleg van het netwerk, vanwege het gebrek aan betrouwbare gegevens. Echter, de impact van deze activiteiten in de MKI per kWh warmte geleverd is vrij groot (ingeschat op basis van het LT-model). Om oneerlijke vergelijking tussen deze twee warmtenetten te voorkomen hebben we de processen voor het aanleggen en produceren van de materialen overgenomen van de materialisatie van het lage temperatuur warmtenet (zie Lage temperatuur warmtenet). Eventuele distributiepompen en techniekruimten zijn niet meegenomen in deze inventarisatie vanwege gebrek aan gegevens en de ingeschatte impact (zie gevoeligheidsanalyse 4.3.1).

De bovengenoemde materialen worden als volgt verwerkt aan het einde van de levenscyclus:

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	% secundair	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik
staal, licht	1,04E-03	kg	21%	0%	1%	0%	87%	12%
polyurethaan	8,28E-05	kg	0%	0%	0%	100%	0%	0%
kunststoffen, overig	1,39E-04	kg	0%	0%	0%	90%	10%	0%
zand, grond	1,68E-02	kg	0%	0%	1%	0%	0%	99%

3.2.2 Lage temperatuur warmtenet

Op basis van het project Warmteconfiguraties Deltares² hebben we de relevante infrastructuur overgenomen voor een lage temperatuur warmtenet. Deze studie gaat uit van een warmtenet voor een grondgebonden gebouw met 1.000 woningen, met een totale thermische vraag van 10.430 MWh per jaar.

Voor het LT grondgebonden warmtenet zijn twee type geïsoleerde leidingen nodig; PEX-PUR-LLD-PE (Calpex) leidingen en Staal-PUR-PE (VPS) leidingen. Verschillende diameters zijn samengevoegd voor eenvoudigere modellering, zie Tabel 3.4. De lengte van het totale leidingennetwerk is 30.000 m. De levensduur van de leidingen en de technische ruimte is 50 jaar, volgens Deltares. De distributiepompen gaan 20 jaar mee, volgens dezelfde studie.

Tabel 3.4

Inventarisatie infrastructuur, LT-net, grondgebonden Deltares

Onderdeel infrastructuur	Hoeveelheid per net	Levensduur
Distributiepompen	3 x 37 kW	20 jaar
Overige techniekruimte	13 m ²	50 jaar
Leidingennetwerk Calpex, diameter 25 mm	14.040 m	50 jaar
Leidingennetwerk Calpex, diameter 40 & 50 mm	2.635 m	50 jaar
Leidingennetwerk Calpex, diameter 63 & 75 mm	4.213 m	50 jaar
Leidingennetwerk VPS, diameter 90 & 110 & 125 mm	5.677 m	50 jaar
Leidingennetwerk VPS, diameter 140 & 160 & 180 mm	2.765 m	50 jaar
Leidingennetwerk VPS, diameter 220 & 225 & 250 mm	669 m	50 jaar

De materialisatie van de bovengenoemde onderdelen infrastructuur is gepresenteerd in Tabel 3.5 en het is berekend naar kWh geleverde warmte per jaar per jaar levensduur.

² [R001_01_056111aa_LCA_Warmtenetconfiguraties_eindconcept voor publicatie](#)

Tabel 3.5

Materialisatie leidingen LT-warmtenet per kWh geleverde warmte per jaar

Materiaal	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Extruderen HDPE leidingen	0357-pro&Extruderen, kunststof, buizen (exclusief kunststof) (o.b.v. Extrusion, plastic pipes {GLO} market for Cut-off, U; "1 kg of this process equals 0.996 kg of extruded plastic pipes.")	3,83E-05 kg
HDPE granulaat Calpex-leidingen	0353-fab&Polyetheen, HDPE, granulaat (o.b.v. Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, U)	3,83E-05 kg
PUR hardschuim leidingen	0032-fab&PUR, hardschuim (o.b.v. Polyurethane, rigid foam {RER} market for polyurethane, rigid foam Cut-off, U)	4,40E-05 kg
HDPE, buisprofiel VPS-leidingen	0185-fab&Polyetheen, HDPE, geëxtrudeerd (o.b.v. Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, U & Extrusion, plastic pipes {GLO} market for Cut-off, U)	3,94E-05 kg
PE folie leidingen	0012-fab&Polyetheen, LDPE, folie (o.b.v. Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, U)	5,08E-06 kg
Staal, buisprofiel	0318-fab&Staal, warmgewalst, buis- en kokerprofielen {GLO} (86,6% primair, 13,4% secundair)	2,23E-04 kg
Elektriciteit, productie van leidingen	0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)	1,90E-05 kWh
Aardgas, productie van leidingen	0111-pro&Aardgas, verbrand, bij consument, per m3	1,50E-05 m³
Transport van leidingen	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	8,95E-04 tkm
Zand voor aanleg leidingen	0168-fab&Zand, industriezand, ophoogzand, betonzaad, drainagezand (o.b.v. Sand {RoW} market for sand Cut-off, U)	1,68E-02 kg
Aanleg leidingen	0335-pro&Dieselverbruik, bouwmaschine cat. IIIB, 75-130kW, per l (diesel: 35,9 MJ/liter en 0,832 kg/liter)	1,13E-05 l
Aanleg leidingen	0140-pro&Lassen, staal, arc, per meter (o.b.v. Welding, arc, steel {GLO} market for Cut-off, U)	6,33E-07 m

Tabel 3.6

Materialisatie techniekruimte LT-warmtenet per kWh geleverde warmte per jaar

Materiaal	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Aluminium techniekruimte	0151-fab&Aluminium (o.b.v. Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U; 26% primair, 74% secundair)	7,48E-08 kg
Cementmortel techniekruimte	0068-fab&Cementmortel, metselspecie (Cement mortar {RoW} market for cement mortar Cut-off, U)	5,23E-07 kg
Baksteen techniekruimte	0008-fab&Baksteen, metselbaksteen, straatbaksteen, klinker (o.b.v. Clay brick {GLO} market for Cut-off, U)	2,67E-06 kg
Beton techniekruimte	0005-fab&Betonmortel C30/37 (o.b.v. 75% CEM III en 25% CEM I), 2373,03 kg/m ³	7,55E-09 m ³
Polystyreen techniekruimte	0007-fab&Polystyreen, EPS (o.b.v. Polystyrene foam slab {GLO} market for Cut-off, U; 87% primair, 13% secundair)	1,35E-07 kg
Gewapend staal techniekruimte	0167-fab&Staal, wapening, ongelegeerd (betonstaal, wapeningsnet, vezels, voorspanstaal) (o.b.v. 21,5% Steel, unalloyed, 78,5% Steel, low-alloyed & Hot rolling, steel {GLO} market for Cut-off, U; 17,8% primair, 82,2% secundair)	8,33E-07 kg
Steenwol techniekruimte	0013-fab&Steenwol (o.b.v. Stone wool {GLO} market for stone wool Cut-off, U)	3,29E-07 kg
Verzinking	0314-pro&Verzinken, per m ² , incl. zink (o.b.v. 1 m ² Zinc coat, coils {GLO} market for Cut-off, U) ("zinc coating layer is between 20 to 45 um thick")	1,12E-07 m ²
Glas techniekruimte	0019-fab&Glas, vlakglas (o.b.v. Flat glass, coated {RoW} market for flat glass, coated Cut-off, U)	1,12E-07 kg
Dakbeplating techniekruimte	0040-fab&Houtvezelplaat, houtvezelcementplaat (o.b.v. Particleboard, cement bonded {RER} market for Cut-off, U en 1200 kg/m ³ ; 71,8% primair, 28,2% secundair; 60% cement, 20% hout, 20% water))	8,23E-07 kg
Transport materialen naar de bouwplaats	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	8,46E-07 tkm
Elektriciteit, productie van materialen	0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)	1,05E-07 kWh

Dieselverbruik, bouwmaschine	0340-pro&Dieselverbruik, bouwmaschine cat. IV, alle vermogens, per l (diesel: 35,9 MJ/liter en 0,832 kg/liter)	6,61E-14 l
------------------------------	--	------------

Tabel 3.7

Materialisatie distributiepompen LT-warmtenet per kWh geleverde warmte per jaar

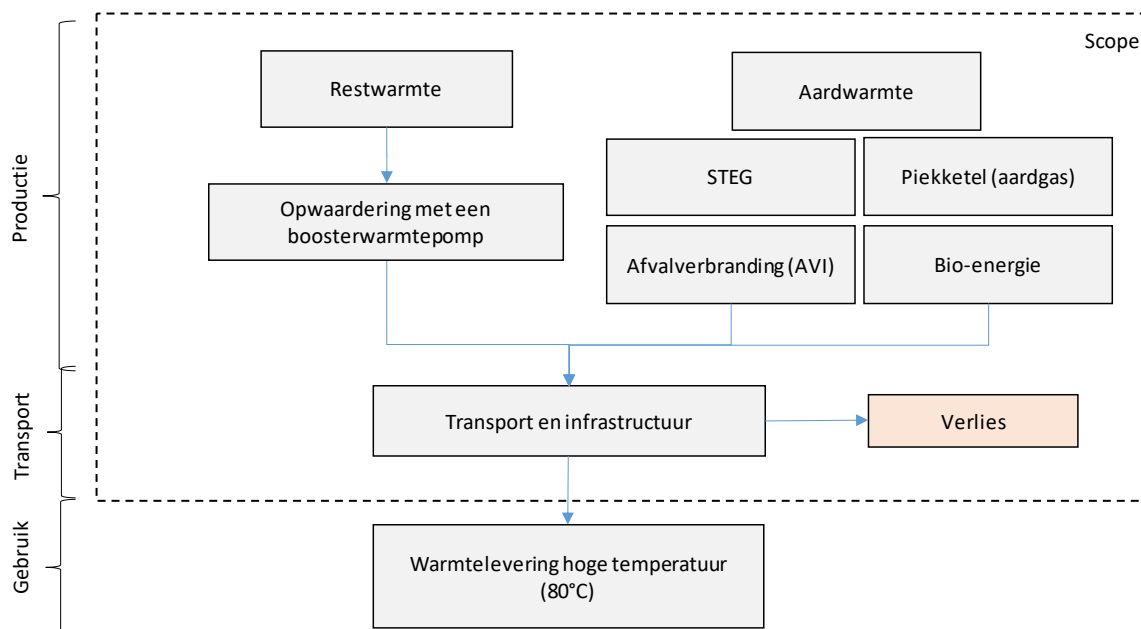
Materiaal	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Aluminium distributiepompen	0151-fab&Aluminium (o.b.v. Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U; 26% primair, 74% secundair)	2,48E-08 kg
Gietijzer distributiepompen	0220-fab&Gietijzer (o.b.v. Cast iron {GLO} market for Cut-off, U; 61,3% primair, 38,7% secundair)	1,49E-06 kg
Koper, voor draad distributiepompen	0059-fab&Koper, kathode, voor draad (European mix for cathodes o.b.v. 49% Copper {RER} production, primary, 9% Copper {RER} treatment of scrap by electrolytic refining & 42% Copper {GLO} market for; 79% primair, 21% secundair)	1,55E-07 kg
Koper, voor plaat distributiepompen	0287-fab&Koper, semis, voor plaat en buis (o.b.v. 33% 0059-fab&koper, kathode, 67% Copper {RER} treatment of scrap by electrolytic refining; 26% primair, 74% secundair)	1,55E-07 kg
Draad trekken, koper	0147-pro&Draad trekken, koper (o.b.v. Wire drawing, copper {GLO} market for Cut-off, U)	1,55E-07 kg
Walsen, koper	0609-pro&Walsen, staal (o.b.v. Sheet rolling, steel {GLO} market for Cut-off, U)	1,55E-07 kg
Polyvinylchloride (PVC) distributiepompen	0200-fab&PVC, folie (o.b.v. Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for Cut-off, U + Extrusion, plastic film {GLO} market for Cut-off, U)	3,72E-08 kg
Staal, hooggelegeerd distributiepompen	0202-fab&Staal, hooggelegeerd, RVS (o.b.v. Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, U; 72% primair, 28% secundair)	1,14E-06 kg
Rubber distributiepompen	0014-fab&EPDM, rubber, chloropreen, neoprene, styrene butadiene rubber – SBR (o.b.v. Synthetic rubber {GLO} market for Cut-off, U)	8,69E-09 kg
Transport materialen naar de bouwplaats	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	4,98E-07 tkm
Elektriciteit, productie van materialen	0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6%	3,04E-06 kWh

	hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)	
Warmte, productie van materialen	0000-pro&Warmtelevering via warmtenet, Nederlandse mix, hoge temperatuur, bij consument, per kWh	1,04E-04 kWh

De baten en lasten buiten de systeemgrenzen (module D) voor deze materialen zijn verwaarloosbaar, deze zijn buiten beschouwing gelaten.

3.3 Warmtelevering via warmtenet, Nederlandse mix, HT

Er zijn zes hoofdbronnen voor hoge temperatuur warmte in Nederland: aardwarmte (oftewel geothermie genoemd), industriële restwarmte, aftapwarmte van afvalverwerkingsinstallaties, warmtekrachtkoppeling van elektriciteitscentrales, bio-energie (biomassa/-gas) en piekketels voor piekwarmtevraagmomenten. Bij het transport van warmte is altijd een deel van de energie verloren. Dit wordt meegenomen in de transportfase als een verliespercentage. Zie Fout! Verwijzingsbron niet gevonden. voor opzet procesboom.



Figuur 3.3

Procesboom Warmtelevering via warmtenet, Nederlandse mix, HT

3.3.1 Productiefase (A1-A3)

De Nederlandse mix van hoge temperatuur warmteproductie bestaat uit de volgende bronnen:

- Aardwarmte

- Aftapwarmte AVI
- Bio-energie
- Piekketel (gas)
- Restwarmte
- STEG met WKK

Voor de landelijke verdeling van deze bronnen is de Greenvis 2020 Inventarisatie duurzaamheid warmtenetten³ gebruikt. Het Greenvis scenario is gebaseerd op een steekproef uit onderzoek naar de haalbaarheid van de normen voor Wet collectieve Warmtevoorziening en op interviews met de grootste warmtenetexploitanten. De kengetallen van de studie zijn geüpdatet, dus de resultaten voor 2025 zijn overgenomen als basis voor de landelijke HT-mix. Zie de inventarisatie hieronder:

Tabel 3.8

Opwek warmte per bron uit het Greenvis-onderzoek

Type bron	2025	Toepassing binnen HT mix voor de NMD milieuverklaring
AVI	6,0 PJ	Aftapwarmte AVI
Bio-energie	6,6 PJ	Bio-energie
Restwarmte	1,3 PJ	Restwarmte
Aardgasketel	2,3 PJ	Piekketel (gas)
Aftapwarmte	6,3 PJ	STEG met WKK
WKO	0,3 PJ	-
WKK ZD	0,2 PJ	STEG met WKK
Piekwarmte uit warmtenet	0,0 PJ	-
Geothermie	0,0 PJ	Aardwarmte
Elektrische boiler	0,2 PJ	Piekketel (gas)
Aquathermie	0,4 PJ	-

Op basis van deze tabel kwamen we met de volgende verdeling voor HT-bronnen:

Tabel 3.9

Aandeel warmtebronnen in het HT-warmtenet in 2025 (Greenvis)

Warmtebron	Aandeel van HT-net in 2025
Aftapwarmte AVI	26,2%
STEG met WKK	28,4%
Piekketel (gas)	10,9% ⁴
Restwarmte	5,7%
Bio-energie	28,8%

³ Inventarisatie duurzaamheid warmtenetten – Normstelling CO₂-emissie Wet collectieve Warmtevoorziening (2020): <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-2cb84abc-34bf-4010-b558-911ba1a0cd00/pdf>

⁴ Aandeel elektrische boiler meegenomen.

Aardwarmte	0,0%
------------	------

Elektrische boiler wordt niet gemodelleerd in deze studie. Het aandeel daarvan wordt als piekketel meegenomen, omdat het dezelfde functie vult.

Een alternatieve berekenmethode voor de samenstelling van de hoge temperatuur warmtebronnen wordt nog uitgelicht in de gevoeligheidsanalyse op pagina 62.

3.3.2 Transportfase (A4)

Bij het transport van warmte in het warmtenet treden er verliezen op. Het warmteverlies is ongeveer een kwart van de warmte geleverd aan het net, maar er is veel variatie tussen verschillende netten. Op basis van de 2024 warmte-etiketten van Vattenfall⁵, Ennatuurlijk⁶ en Eneco⁷ hebben we een gemiddelde van 27,4% (28,9%; 28,4% en 25% respectievelijk) berekend gebaseerd op de geleverde warmte. Dit verliespercentage is meegerekend in de transportfase (A4) van elke HT-warmtebron.

Het warmtenet werkt met elektrische distributiepompen, die het hete water rondpompen. Uit praktijkgegevens van experts bij Vattenfall blijkt, dat het kengetal voor de benodigde hulpenergie voor de pompen 2,5-5 kWh per GJ warmte geleverd is. Grotere netten hebben dikkere buizen en meer warmteverlies, dus het elektriciteitsverbruik distributiesystemen ligt hoger, vaak bij 5 kWh_{el} per GJ_{th}. Dit verbruik hanteren we in ons model voor module A4.

3.4 Warmtelevering, aardwarmte (2000 m diep), HT

Aardwarmte is het gebruik van warmte uit de diepe ondergrond voor het verwarmen van huizen, gebouwen, kassen en industrie. Aardwarmte wordt ook wel geothermie genoemd. De temperatuur die met aardwarmte geleverd kan worden hangt af van de diepte. De meeste aardwarmteprojecten winnen warmte van ongeveer 60 tot 90 °C, op 2 tot 3 kilometer diepte.

3.4.1 Materialisatie infrastructuur

We hebben de Screening LCA van TNO⁸ uit 2021 gebruikt als basis voor de materialisatie van het aardwarmtesysteem. Deze studie beschrijft een systeem met twee geothermische doublets, die 2.000 meter diep zijn. De doublets zijn lange pijpen gemaakt van staal en beschermd met cement. Dit systeem produceert in totaal 366.823,7 MWh aan warmte per jaar (350.400 MWh uit de aarde en 16.423,7 MWh uit formatiegas) en heeft een levensduur van 35 jaar.

Bij de infrastructuur van aardwarmte horen ook de volgende installaties bij: LSP-pomp, injectiepomp, warmtewisselaar, filters, kleppen, luchtkoeling, en transportleiding (360 m). De materialisatie van deze onderdelen waren niet meegenomen in de Screening LCA van TNO, dus ze zijn overgenomen van de case study voor een vergelijkbaar systeem in

⁵ [Vattenfall Stadswarmte-etiket 2024](#)

⁶ [Cijfers warmte-etiketten 2024.xlsx](#)

⁷ [eneco_warmte-etiket_2024.pdf](#)

⁸ Screening LCA for a geothermal doublet (TNO, 2021)

Rittershoffen, Frankrijk⁹. Dit systeem produceert 180 GWh warmte per jaar en heeft een levensduur van 30 jaar, wat meegenomen is in de berekening.

De meest relevante aanlegprocessen (smeerolie, chemicaliën en dieserverbruik) zijn overgenomen van het proces '*Deep well, for geothermal power, onshore, 6000m {GLO}| deep well drilling, for geothermal power, onshore, 6000m | Cut-off, U*', die ook werd gebruikt in de LCA van TNO.

Tabel 3.10

Inventarisatie en modellering materialisatie infrastructuur aardwarmte per kWh geleverde warmte per jaar

Materiaal	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte ¹⁰
Staal van de doubletpijpen, laaggeleerd	0238-fab&Staal, laaggeleerd (o.b.v. Steel, low-alloyed {GLO} market for Cut-off, U; 68,4% primair, 31,6% secundair)	2,19E-06 kg
Staal van de doubletpijpen, ongeleerd	0214-fab&Staal, ongeleerd (o.b.v. Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, U; 79% primair, 21% secundair)	6,12E-07 kg
Portlandcement rond de doublets	0706-fab&Portlandcementklinker (o.b.v. Clinker {Europe without Switzerland} production Cut-off; emissies aangepast aan NL-PCR- en BREF cement (2024))	7,61E-06 kg
Staal van installaties	0054-fab&Staal, gemoffeld (o.b.v. 98,6% Steel, unalloyed {GLO} market for Cut-off, U, Sheet rolling, steel {GLO} market for Cut-off, U + 1,4% Powder coat, steel {GLO} market for Cut-off, U)	6,75E-05 kg
Koper van installaties	0287-fab&Koper, semis, voor plaat en buis (o.b.v. 33% 0059-fab&koper, kathode, 67% Copper {RER} treatment of scrap by electrolytic refining; 27,5% primair, 72,5% secundair)	3,56E-05 kg
Aluminium van installaties	0151-fab&Aluminium (o.b.v. Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U; 26% primair, 74% secundair)	2,31E-06 kg
RVS van installaties	0202-fab&Staal, hooggeleerd, RVS (o.b.v. Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, U; 51% primair, 49% secundair)	1,47E-05 kg
Glaswol van installaties	0017-fab&Glaswol (o.b.v. Glass wool mat {GLO} market for Cut-off, U; 41,1% primair, 58,9% secundair)	1,16E-06 kg

⁹ Environmental assessment in each country, for a selection of GEOENVI case studies, Guillaume RAVIER et al., z.d. blz. 28-32

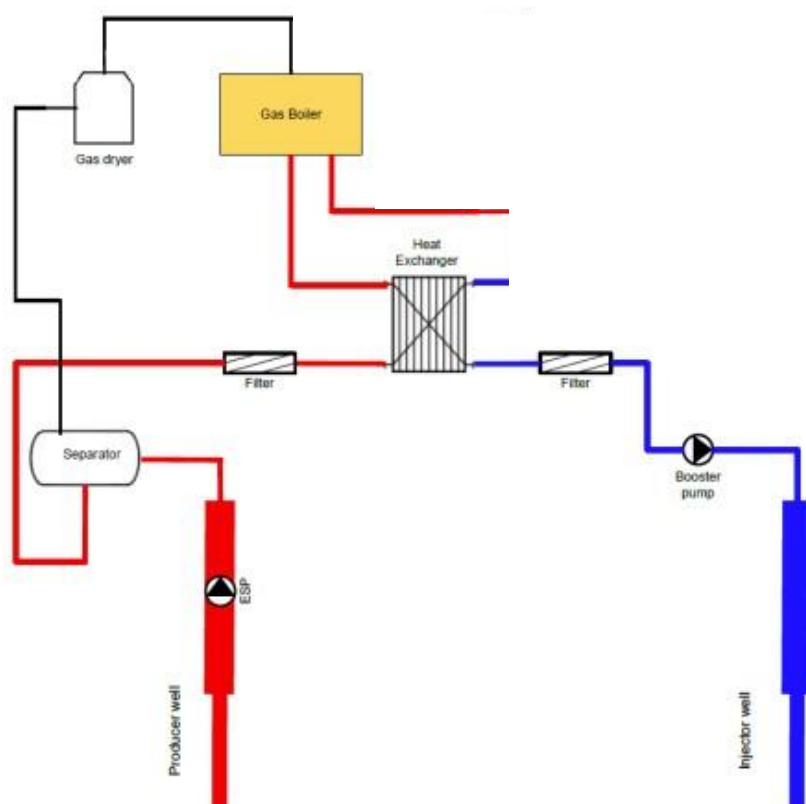
¹⁰ Berekend met totaal materiaal per aardwarmtesysteem in kwestie (twee case studies) / levensduur van het systeem / totale warmteproductie van het systeem per jaar

Productie van materialen, metaal	0436-pro&Metaalbewerking (o.b.v. Energy and auxilliary inputs, metal working machine {RER}) market for energy and auxilliary inputs, metal working machine Cut-off, U)	8,74E-05 kg
Productie van materialen, koper	0147-pro&Draad trekken, koper (o.b.v. Wire drawing, copper {GLO}) market for Cut-off, U)	2,97E-06 kg
Smeerolie voor het boren van de putten	0456-fab&Smeerolie (o.b.v. Lubricating oil {RER}) market for lubricating oil Cut-off, U)	1,34E-10 kg
Chemicaliën nodig voor het boren van de putten	0407-fab&Chemicaliën, anorganisch (o.b.v. Chemical, inorganic {GLO}) market for chemicals, inorganic Cut-off, U)	9,39E-11 kg
Diesel nodig voor het boren van de putten	0366-pro&Diesel, verbranding in generator, 10MW (o.b.v. Diesel, burned in diesel-electric generating set, 10MW {GLO}) diesel, burned in diesel-electric generating set, 10MW Cut-off, U)	1,56E-08 MJ

3.4.2 Productiefase (A1-A3)

In Nederland bestaan de meeste bestaande geothermische systemen uit twee of meer boorgaten op een variabele diepte tussen 1.500 en 3.000 meter onder het aardoppervlak. Warm water (tussen 60 en 95 graden Celsius) wordt uit de ondergrond door een elektrische pomp naar de oppervlakte gepompt om thermische energie te produceren. Een gas/waterafscheider, filters, een warmtewisselaar, gasdroger, gasboiler en/of WKK maken deel uit van de bovengrondse apparatuur die nodig is om de warmte uit de geothermische bron te halen en deze naar een warmtedistributienetwerk te transporteren. Bij deze milieuverklaring is geen opwaardering van de warmte met een boosterwarmtepomp van toepassing vanwege hoge temperatuur bron.

Figuur 3.5 geeft een overzicht van een algemeen aardwarmtesysteem.



Figuur 3.4

Schematisch overzicht van een geothermisch systeem, bron (TNO, 2021)

Verschillende gassen zijn opgelost in het grondwater (bijvoorbeeld methaan, kooldioxide en stikstof). Door de drukvermindering die het grondwater ondergaat wanneer het naar de oppervlakte wordt gepompt, komen deze gassen vrij uit het water en moeten ze worden opgevangen om directe uitstoot in de atmosfeer te voorkomen. Deze gassen worden 'formatiegassen' genoemd en ze worden verbrand om energie te produceren. Verbranding van de formatiegassen is een deel van de warmteproductie van het aardwarmtesysteem (4,5% in het geval van het Andijk-systeem), dus het wordt gezien als binnen de scope.

Het leggen van een aardwarmtesysteem vereist diepe boringen. Echter, in de gebruiksfase van het systeem zijn de enige in- en uitgaande stromen het elektriciteitsverbruik van de bovengrondse installaties, het gebruik van een corrosieremmer voor het ondergrondse water en het verbranden van formatiegas.

Voor het modelleren van een representatief aardwarmtesysteem, hebben we het rapport van de screening LCA van TNO uit 2021 als basis gebruikt⁸. Deze LCA is gemaakt op basis van een ontwikkelingsplan aardwarmte Andijk ECW Geoholding¹¹. Het gaat over een aardwarmtesysteem met twee doublets van elk 2.000 meter diep. De warmte die met dit geothermisch systeem wordt gewonnen, is ongeveer 84 graden Celsius¹².

¹¹ [190718_verzoek_tot_instemming_wp_andijk_publiek_gelakt.pdf](#)

¹² bron: <https://geothermie.nl/geothermie/locaties/het-grootslag-andijk/>

De capaciteit van dit systeem is 40 MW en de jaarlijkse productie van de (vier) putten in totaal 350.400 MWh. Met de energie geproduceerd met het formatiegas daarbij komt het neer op 366.823,7 MWh/jaar.

De overgenomen inputs per geproduceerde kWh warmte per jaar zijn gemodelleerd als volgt:

Tabel 3.11

Inventarisatie en modellering inputs aardwarmtesysteem per jaar per kWh output warmte

Input	Hoeveelheid	Eenheid	Toelichting	Gebruikte Ecoinvent-proces
Methaan in formatiewater (input uit de natuur)	0,001	kg	Input formatiegas die verbrand wordt voor warmte.	Methane; in water
Materialisatie infrastructuur	1,377	kWh		Gemodelleerd zoals beschreven in 3.4.1 Materialisatie infrastructuur
Dimethylamine	3,77E-04	kg	Corrosieremmer	0000-fab&Dimethylamine (o.b.v. Dimethylamine {RER} market for dimethylamine Cut-off, U)
Elektriciteit	0,0744	kWh	Totaal elektriciteitsverbruik van de bovengrondse apparatuur en de bronpomp	0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)
Verbranding van formatiegas	0,0925	kWh	Het proces van verbranden formatiegas zonder aardgasinput, het methaan apart meegenomen in inputs uit de natuur	0000-pro&Warmteproductie, aardgas, in industriële oven >100 kW (o.b.v. Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Cut-off, U)
Formatiegas in plaats van aardgas bij het verbranden	-3,36E-17	m³	Compenseren van aardgasinput van het verbrandingsproces	0111-pro&Aardgas, verbrand, bij consument, per m3 (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)
Dimethylamine-emissies	3,77E-04	kg	Emissies van de corrosieremmer naar het grondwater. Er wordt aangenomen dat alle corrosieremmer in het milieu terecht komt.	Emissies naar water: Dimethylamine; groundwater

3.4.3 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D)

De afvalverwerking, wat het storten en verbranden voor energie betreft, is al meegenomen in de gebruikte Ecoinvent-processen. Hieraan voegen we toe de recycling en de terugwinning van materiaal, op basis van de verwerkingsscenario's in Tabel 3.4.

Tabel 3.12

Verwerking materialen aardwarmte einde leven per kWh warmte geproduceerd

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	% secundair	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik
staal, zink / verzinkt staal	1,69E-05	kg	31,6%	0%	5%	0%	95%	0%
staal, licht	6,12E-07	kg	21%	0%	1%	0%	87%	12%
staal, leidingen uit GWW	6,75E-05	kg	0%	95%	1%	0%	4%	0%
koper	3,56E-05	kg	72,5%	0%	5%	0%	95%	0%
aluminium, uit B&U	2,31E-06	kg	74,0%	0%	3%	3%	94%	0%
glaswol	1,16E-06	kg	58,9%	0%	85%	5%	10%	0%

Bij aardwarmte is ook de afsluiting van de putten meegenomen als een deel van de verwerking in de eindelevensfase. Dit is gemodelleerd met het Ecoinvent-proces '*Deep well closure {GLO}/ deep well closure, for geothermal power, onshore, 6000m / Cut-off, U*' volgens de inventarisatie van de screening LCA van TNO¹³.

3.5 Warmtelevering, aftapwarmte afvalverwerkingsinstallatie (AVI), mix fossiel/hernieuwbaar, HT

Een afvalverwerkingsinstallatie verbrandt afval en maakt hiermee stroom en warmte. De warmte die hierbij vrijkomt is deels hernieuwbaar, omdat een deel van het afval uit papier, houtresten en voedselresten bestaat.

3.5.1 Materialisatie infrastructuur

Alle infrastructuur gerelateerd aan de productie van aftapwarmte uit AVI wordt toegekend aan de originele bron, niet bij de warmtelevering. De materialisatie van deze warmtebron is dus ook free-of-burden.

¹³ Dit proces omvat alleen cement en grind om de put af te sluiten, zonder energieverbruik: 229 m putafsluiting / 35 jaar levensduur systeem / 366.823.700 kWh jaarlijkse warmteproductie.

3.5.2 Productiefase (A1-A3)

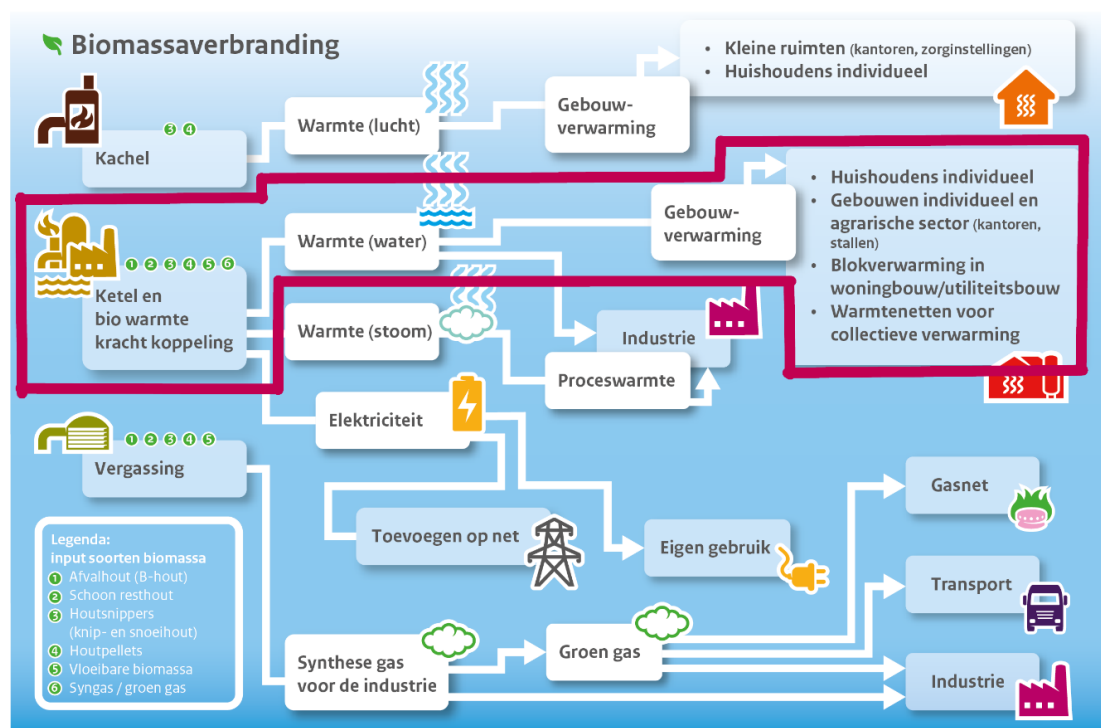
Energieopwekking met afval als bron is meegenomen in het model als free-of-burden, in lijn met de EN 15804. De emissies van de afvalverbranding zijn onderdeel van afvalverwerking van het vorige productsysteem.

3.5.3 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D)

De infrastructuur van aftapwarmteproductie AVI is free-of-burden dus dat betekent ook dat de verwerking daarvan aan het einde leven wordt niet meegenomen in deze milieuverklaring.

3.6 Warmtelevering, bio-energie (59% biogas, 41% vaste biomassa), HT

Biomassa is het biologisch afbreekbare deel van producten, afvalstoffen en resten van natuurproducten, bijvoorbeeld resten uit de land- en tuinbouw, bossen, zee, industriële producten en huishoudelijk gft-afval. Het kan in groengas worden omgezet, maar het kan ook direct in warmte worden omgezet in een warmtecentrale, zie Figuur 3.6.



Figuur 3.5
Biomassaverbranding (RVO)

3.6.1 Materialisatie infrastructuur

We hebben de infrastructuur overgenomen van de twee Ecoinvent-processen gebruikt voor het modelleren van warmtelevering uit bio-energie (*Heat, central or small-scale, other than natural gas {NL}* / *heat and power co-generation, biogas, gas engine* / *Cut-off, U en Heat, district or industrial, other than natural gas {NL}* / *heat and power co-generation, wood*

chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 / Cut-off, U). De originele waarden (per MJ) hebben we vervolgens omgerekend per aandeel van de mix (zie verdeling in 3.6.2) en per kWh, zie tabel hieronder.

Tabel 3.13

Inventarisatie en modellering infrastructuur bio-energie

Onderdeel infrastructuur	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Warmtecentrale biogas	Heat and power co-generation unit, 160kW electrical, common components for heat+electricity {RER} heat and power co-generation unit construction, 160kW electrical, common components for heat+electricity Cut-off, U	3,94E-9 p
Warmtecentrale biogas	Heat and power co-generation unit, 160kW electrical, components for electricity only {RER} heat and power co-generation unit construction, 160kW electrical, components for electricity only Cut-off, U	3,94E-9 p
Warmtecentrale biogas	Heat and power co-generation unit, 160kW electrical, components for heat only {RER} heat and power co-generation unit construction, 160kW electrical, components for heat only Cut-off, U	3,94E-9 p
Warmtecentrale biomassa (hout)	Furnace, wood chips, with silo, 5000kW {GLO} market for furnace, wood chips, with silo, 5000kW Cut-off, U	5,72E-10 p
Warmtecentrale biomassa (hout)	Heat and power co-generation unit, organic Rankine cycle, 1000kW electrical {GLO} market for heat and power co-generation unit, organic Rankine cycle, 1000kW electrical Cut-off, U	5,72E-10 p

We hebben een netwerk-overzicht gemaakt van deze processen en met 0,5% afkap van MKI de volgende materialen overgenomen:

Tabel 3.14

Materialisatie infrastructuur bio-energie per kWh geleverd warmte

Materiaal	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Edelmetalen, installaties	0606-fab&Zilver (o.b.v. Silver {GLO} market for Cut-off, U)	9,83E-10 kg
Smeerolie, installaties	0456-fab&Smeerolie (o.b.v. Lubricating oil {RER} market for lubricating oil Cut-off, U)	3,95E-06 kg
Gietijzer, installaties	0220-fab&Gietijzer (o.b.v. Cast iron {GLO} market for Cut-off, U; 65% primair, 35% secundair)	8,70E-06 kg

Steenwol, installaties	0013-fab&Steenwol (o.b.v. Stone wool {GLO}) market for stone wool Cut-off, U)	3,88E-06 kg
Koper, installaties	0059-fab&Koper, kathode, voor draad (European mix for cathodes o.b.v. 49% Copper, cathode {GLO}) electrorefining of copper, anode , 9% Copper {RER}) treatment of scrap by electrolytic refining & 42% Copper, cathode {GLO}) market for; 82,6% primair, 17,4% secundair)	1,59E-06 kg
Aluminium, installaties	0379-fab&Aluminium, kneedlegering (o.b.v. Aluminium, wrought alloy {GLO}) market for Cut-off, U; 70% primair, 30% secundair)	1,14E-06 kg
Staal, laaggeleerd, installaties	0238-fab&Staal, laaggeleerd (o.b.v. Steel, low-alloyed {GLO}) market for Cut-off, U; 68,4% primair, 31,6% secundair)	9,09E-05 kg
Staal, gemoffeld, installaties	0054-fab&Staal, gemoffeld (o.b.v. 98,6% Steel, unalloyed {GLO}) market for Cut-off, U, Sheet rolling, steel {GLO}) market for Cut-off, U + 1,4% Powder coat, steel {GLO}) market for Cut-off, U)	3,70E-05 kg
Beton, installaties	0004-fab&Betonmortel C20/25 (o.b.v. 75% CEM III en 25% CEM I), 2407 kg/m3	7,63E-05 kg
Staal, warmgewalst, installaties	0519-fab&Staal, warmgewalst, wereldproductie (o.b.v. "Steel, low-alloyed, hot rolled {RER}) production Cut-off, U"; 68,4% primair, 31,6% secundair)	7,37E-05 kg
Koudemiddel, installaties	0489-fab&Koudemiddel-R134a (o.b.v. "Refrigerant R134a {GLO}) market for Cut-off, U")	6,87E-07 kg
Staal, RVS, installaties	0202-fab&Staal, hooggeleerd, RVS (o.b.v. Steel, chromium steel 18/8 {GLO}) market for Cut-off, U; 51% primair, 49% secundair)	6,66E-06 kg
Metaalbewerking aluminium, staal, ijzer	0436-pro&Metaalbewerking (o.b.v. Energy and auxilliary inputs, metal working machine {RER}) market for energy and auxilliary inputs, metal working machine Cut-off, U)	1,65E-05 kg
Draad trekken, koper	0147-pro&Draad trekken, koper (o.b.v. Wire drawing, copper {GLO}) market for Cut-off, U)	1,59E-06 kg

Alle edelmetalen (platinum en rhodium) zijn gemodelleerd als zilver, vanwege gebrek aan passend NMD-proces.

3.6.2 Productiefase (A1-A3)

Voor de verdeling van deze bronnen is gebruikgemaakt van de 2024 gegevens van CBS, zie Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..

Tabel 3.15

Warmteproductie uit omzettingen in 2024, centrale productie (CBS¹⁴)

Omzetting	Warmteproductie in 2024, TJ	% van totaal	Categorie
Bij- en meestoken biomassa in centrales	1.282	40,7%	vaste biomassa
Biogas rioolwaterzuiveringsinstallaties	486	15,4%	biogas
Biogas, co-vergisting van mest	828	26,3%	biogas
Overig biogas	555	17,6%	biogas

Op basis van deze verdeling wordt het product warmtelevering, bio-energie samengesteld van 59,3% biogas en 40,7% vaste biomassa. Warmteproductie uit biogas is gemodelleerd als *Heat, central or small-scale, other than natural gas {NL} / heat and power co-generation, biogas, gas engine / Cut-off, U* en warmteproductie uit vaste biomassa als *Heat, district or industrial, other than natural gas {NL} / heat and power co-generation, wood chips, 6667 kW, state-of-the-art 2014 / Cut-off, U*.

Ecoinvent-processen gaan uit van biogene koolstofneutraliteit (opname van CO₂ bij productie/toepassing van biogeen materiaal en gelijke emissie bij verbranding). Vanuit de toegepaste Ecoinvent-processen zit er een inconsistentie tussen de opname en de emissie van biogeen CO₂. Vanwege de significante bijdrage van deze emissies voor warmte uit bio-energie, is het gecorrigeerd zodat biogeen CO₂ binnen module A1-A3 netto op '0' uitkomt. Alleen methaanemissies dragen bij aan GWP-biogeen binnen deze fase.

3.6.3 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D)

We hebben de stappen van 3.1.4 gevolgd en de volgende verwerking einde leven infrastructuur geïnventariseerd:

Tabel 3.16

Verwerking materialen infrastructuur bio-energie einde-leven per kWh warmte geproduceerd

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	% secundair	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik
metalen, overig	9,83E-10	kg	0%	0%	5%	5%	95%	0%
metalen, gemengd	8,70E-06	kg	35%	0%	5%	5%	90%	0%

¹⁴StatLine - Biomassa; verbruik en energieproductie uit biomassa per techniek, gelezen op 23.2.2026

steenwol	3,88E-06	kg	0%	85%	5%	10%	0%	0%
koper	1,59E-06	kg	0%	5%	0%	95%	0%	0%
aluminium, uit B&U	1,14E-06	kg	0%	3%	3%	94%	0%	0%
staal, zink / verzinkt staal	2,28E-06	kg	0%	5%	0%	95%	0%	0%
staal, leidingen uit GWW	6,66E-06	kg	95%	1%	0%	4%	0%	95%
beton	1,65E-05	kg	0%	1%	0%	99%	0%	0%

3.7 Warmtelevering, piekkel (aardgas), HT

Pieketels vangen op koude dagen de pieken in de warmtevraag op en zorgen zo voor leveringszekerheid. Een piekkel werkt op gas en heel soms met olie. In deze studie hanteren we 100% aardgasverbruik, omdat olieketels al bijna uitgefaseerd zijn.

3.7.1 Materialisatie infrastructuur

We hebben de stappen van 3.1.4 gevolgd en de volgende onderdelen relevante infrastructuur geïnterpreteerd:

Tabel 3.17

Inventarisatie en modellering infrastructuur piekkel

Onderdeel infrastructuur	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Pijplijn aardgas onshore	Pipeline, natural gas, long distance, high capacity, onshore {GLO} market for pipeline, natural gas, long distance, high capacity, onshore Cut-off, U	2,41E-6 m

We hebben een netwerk-overzicht gemaakt van deze processen en met 0,5% afkap van MKI de volgende materialen overgenomen:

Tabel 3.18

Materialisatie infrastructuur piekkel (aardgas) per kWh geleverd warmte

Materiaal	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Wapeningstaal	0167-fab&Staal, wapening, ongelegeerd (betonstaal, wapeningsnet, vezels, voorspanstaal) (o.b.v. 21,5% Steel, unalloyed, 78,5% Steel, low-alloyed & Hot	3,34E-03 kg

	rolling, steel {GLO} market for Cut-off, U; 17,8% primair, 82,2% secundair)	
Zand	0168-fab&Zand, industriezand, ophoogzand, betonzand, drainagezand (o.b.v. Sand {RoW} market for sand Cut-off, U)	1,96E-02 kg

3.7.2 Productiefase (A1-A3)

Er is niet heel veel publieke informatie beschikbaar over piekketels. Daarom is deze bron van warmteproductie gemodelleerd met het Ecoinvent-proces *'Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland}| heat production, natural gas, at boiler fan burner low-NOx non-modulating <100kW | Cut-off, U'*. Deze proceskeuze is het meest conservatief in MKI uit alle beschikbare warmteproductieprocessen met aardgas als brandstof, zie vergelijking hieronder.

Tabel 3.19

Vergelijking MKI van Ecoinvent-processen warmteproductie aardgas, per kWh

Ecoinvent-proces	MKI per kWh
Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at boiler atm. low-NOx condensing non-modulating <100kW Cut-off, U	0,0098
Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at boiler atmospheric low-NOx non-modulating <100kW Cut-off, U	0,0106
Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at boiler atmospheric non-modulating <100kW Cut-off, U	0,0101
Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW Cut-off, U	0,0093
Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at boiler fan burner low-NOx non-modulating <100kW Cut-off, U	0,0110
Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at boiler fan burner non-modulating <100kW Cut-off, U	0,0101
Heat, central or small-scale, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at boiler modulating <100kW Cut-off, U	0,0099
Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at boiler condensing modulating >100kW Cut-off, U	0,0090
Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at boiler modulating >100kW Cut-off, U	0,0096
Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace >100kW Cut-off, U	0,0097
Heat, district or industrial, natural gas {Europe without Switzerland} heat production, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW Cut-off, U	0,0104

3.7.3 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D)

We hebben de stappen van 3.1.4 gevolgd en de volgende verwerking einde leven infrastructuur geïnventariseerd:

Tabel 3.20

Verwerking materialen piekketel einde leven per kWh warmte geproduceerd

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	% secundair	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik
staal, wapening	3,34E-03	kg	82,2%	0%	5%	0%	95%	0%
zand, grond	1,96E-02	kg	0%	0%	1%	0%	0%	99%

3.8 Warmtelevering, restwarmte, HT/LT

Restwarmte is warmte die als bijproduct ontstaat in industriële processen. Restwarmte is per definitie vrij van milieu-impact, ook al is het vaak afkomstig van fossiele industrie, zoals chemie of raffinaderij. Lage temperatuur bronnen voor restwarmte zijn datacentra, koelhuizen en rioolwaterzuiveringsinstallaties. Er wordt vrijwel altijd een warmtepomp ingezet om de temperatuur van de beschikbare restwarmte te verhogen. Dit betekent, dat de milieu-impact van restwarmte gelijk is aan de materialisatie en het elektriciteitsverbruik van de pomp.

3.8.1 Materialisatie infrastructuur

Alle infrastructuur gerelateerd aan de productie van restwarmte wordt toegekend aan de originele bron, niet bij de warmtelevering. De materialisatie van restwarmte is dus ook free-of-burden.

De boosterwarmtepomp voor het opwaarderen van warmte voor het HT-net is gemodelleerd op basis van het Ecoinvent-proces *'Heat, brine-water heat pump 10kW {Europe without Switzerland} / heat production, borehole heat exchanger, brine-water heat pump 10kW / Cut-off, U'*. Dit proces gaat uit van levensduur van 20 jaar, maar we hebben het gecorrigeerd naar 15 jaar volgens de categorie 3 uitgangspunten warmtepompen van de NMD. Evenzo, hebben we de lekkagepercentage van koelvloeistof aangepast van 6% naar 2%.

We hebben de stappen van 3.1.4 gevolgd en de volgende onderdelen relevante infrastructuur geïnventariseerd:

Tabel 3.21

Materialisatie infrastructuur restwarmte per kWh warmte geleverd

Onderdeel infrastructuur	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Staal van de booster pomp, wapeningstaal	0167-fab&Staal, wapening, ongelegeerd (betonstaal, wapeningsnet, vezels,	2,60E-04 kg

	voorspanstaal) (o.b.v. 21,5% Steel, unalloyed, 78,5% Steel, low-alloyed & Hot rolling, steel {GLO} market for Cut-off, U; 17,8% primair, 82,2% secundair)	
Staal van de booster pomp, laaggeleerd	0519-fab&Staal, warmgewalst, wereldproductie (o.b.v. "Steel, low-alloyed, hot rolled {RER} production Cut-off, U"; 68,4% primair, 31,6% secundair)	7,12E-05 kg
Koudemiddel van booster pomp	0489-fab&Koudemiddel-R134a (o.b.v. "Refrigerant R134a {GLO} market for Cut-off, U")	1,33E-05 kg
Koper van installaties	0287-fab&Koper, semis, voor plaat en buis (o.b.v. 33% 0059-fab&koper, kathode, 67% Copper {RER} treatment of scrap by electrolytic refining; 27,5% primair, 72,5% secundair)	7,45E-05 kg
Synthetische rubber	0014-fab&EPDM, rubber, chloropreen, neoprene, styrene butadiene rubber - SBR (o.b.v. Synthetic rubber {GLO} market for Cut-off, U)	3,13E-05 kg
Productie van materialen, koper	0147-pro&Draad trekken, koper (o.b.v. Wire drawing, copper {GLO} market for Cut-off, U)	4,19E-05 kg

3.8.2 Productiefase (A1-A3)

Restwarmte wordt als 'free-of-burden' gezien, omdat het een restproduct is van een ander proces. Daarom is er geen specifieke Ecoinvent-proces gekozen voor dit model.

Voor het opwaarderen van restwarmte is een boosterwarmtepomp gemodelleerd. We hebben het Ecoinvent-proces '*Heat, brine-water heat pump 10kW {Europe without Switzerland}| heat production, borehole heat exchanger, brine-water heat pump 10kW | Cut-off, U*' als basis genomen. Deze pomp is een conservatieve keuze, omdat ze voor deze toepassingen vaak groter zijn. Voor het elektriciteitsverbruik van de pomp gebruiken we een COP van 6,5, wat betekent dat per kWh warmte geleverd verbruikt het 0.154 kWh aan elektriciteit.

3.8.3 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D)

De afvalverwerking, wat het storten en verbranden voor energie betreft, is al meegenomen in de gebruikte Ecoinvent-processen. Hieraan voegen we toe de recycling en de terugwinning van materiaal, op basis van de verwerkingsscenario's in Tabel 3.22.

Tabel 3.22

Verwerking materialen restwarmte einde leven per kWh warmte geproduceerd

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	% secundair	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik
koper	7,45E-05	kg	72,5%	0%	5%	0%	95%	0%
staal, wapening	2,60E-04	kg	82,2%	0%	5%	0%	95%	0%
staal, zink / verzinkt staal	7,12E-05	kg	31,6%	0%	5%	0%	95%	0%
elastomeren (o.a. epdm)	3,13E-05	kg	0,0%	0%	10%	85%	5%	0%

3.9 Warmtelevering, elektriciteitscentrale (gas), STEG met WKK, HT

Elektriciteitscentrales produceren stroom en daarbij komt warmte vrij die wordt gebruikt voor warmtenetten. Door een STEG energiecentrale wordt elektriciteit opgewekt, waarbij warmte meermaals teruggeleid kan worden naar de turbine om de efficiëntie van elektriciteitsopwekking te maximaliseren.

3.9.1 Materialisatie infrastructuur

We hebben de stappen van 3.1.4 gevolgd en de volgende onderdelen relevante infrastructuur geïnventariseerd:

Tabel 3.23

Inventarisatie en modellering infrastructuur STEG met WKK

Onderdeel infrastructuur	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Pijpleiding aardgas offshore	Pipeline, natural gas, long distance, high capacity, offshore {GLO} market for pipeline, natural gas, long distance, high capacity, offshore Cut-off, U	1.96E-7 m
Pijpleiding aardgas onshore	Pipeline, natural gas, long distance, high capacity, offshore {GLO} market for pipeline, natural gas, long distance, high capacity, onshore Cut-off, U	3.28E-7 m

We hebben een netwerk-overzicht gemaakt van deze processen en met 0,5% afkap van MKI de volgende materialen overgenomen:

Tabel 3.24

Materialisatie infrastructuur STEG met WKK per kWh geleverd warmte

Materiaal	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Gietijzer	0220-fab&Gietijzer (o.b.v. Cast iron {GLO} market for Cut-off, U; 65% primair, 35% secundair)	1,08E-06 kg
Wapeningstaal	0167-fab&Staal, wapening, ongelegeerd (betonstaal, wapeningsnet, vezels, voorspanstaal) (o.b.v. 21,5% Steel, unalloyed, 78,5% Steel, low-alloyed & Hot rolling, steel {GLO} market for Cut-off, U; 17,8% primair, 82,2% secundair)	8,89E-04 kg

3.9.2 Productiefase (A1-A3)

Deze bron van warmteproductie is gemodelleerd met het Ecoinvent-proces "*Heat, district or industrial, natural gas {NL}| heat and power co-generation, natural gas, combined cycle power plant, 400MW electrical | Cut-off, U*". Het is een land-specifiek proces, die gaat over warmtekrachtkoppeling (co-generation) van warmte in een energiecentrale die voornamelijk stroom produceert. Deze werd gekozen omdat de gemiddelde STEG-centrale een nominaal elektrisch vermogen van 370 MW heeft¹⁵ in Nederland.

3.9.3 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D)

We hebben de stappen van 3.1.4 gevolgd en de volgende verwerking einde leven infrastructuur geïnventariseerd:

Tabel 3.25

Verwerking materialen STEG einde leven per kWh warmte geproduceerd

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	% secundair	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik
metalen, gemengd	1,08E-06	kg	35,0%	0%	5%	5%	90%	0%
staal, wapening	8,89E-04	kg	82,2%	0%	5%	0%	95%	0%

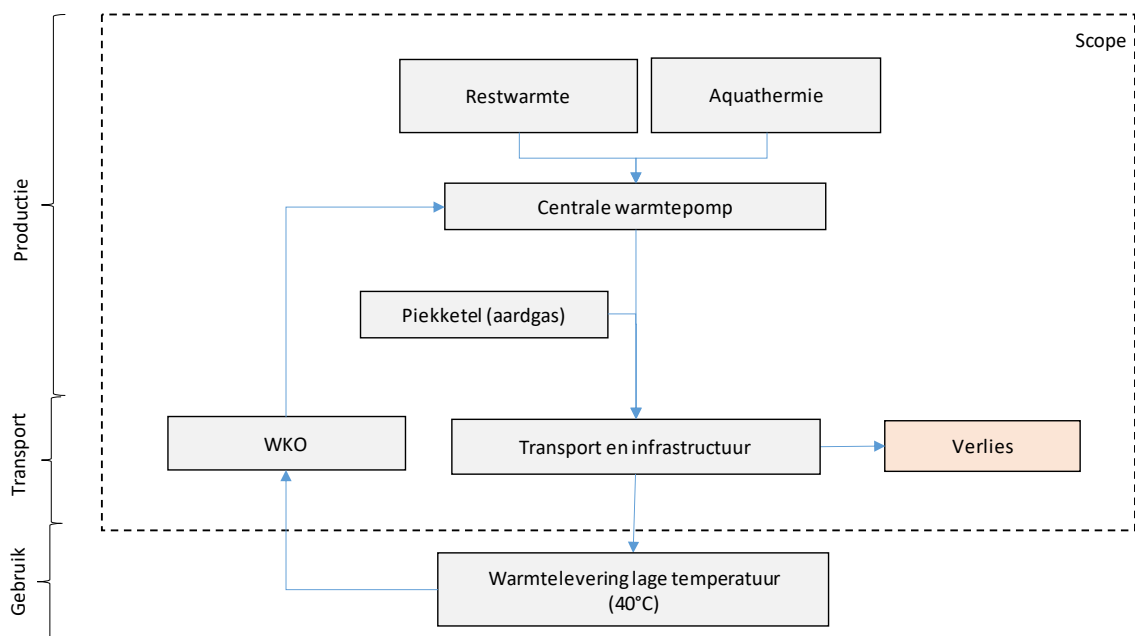
3.10 Warmtelevering via warmtenet, Nederlandse mix, LT

Er zijn vier hoofdbronnen voor lage temperatuur warmte in Nederland: restwarmte, aquathermie, warmte-koude-opslag en piekketels voor piekwarmtevraagmomenten. De eerste twee bronnen zijn in het algemeen lage temperatuurbronnen, wat betekent dat de warmte nog opgewaardeerd moet worden met een collectieve boosterwarmtepomp om in het net te gebruiken. Bij het transport van warmte is altijd een deel van de energie verloren. Dit wordt meegenomen in de transportfase als een verliespercentage. Zie Fout!

Verwijzingsbron niet gevonden. voor opzet procesboom.

¹⁵ Zie lijst van energiecentrale in Nederland:

https://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst_van_elektriciteitscentrales_in_Nederland



Figuur 3.6
Procesboom lage temperatuur warmtenet

3.10.1 Productiefase (A1-A3)

De Nederlandse mix van lage temperatuur warmtelevering bestaat uit de volgende bronnen:

- Aquathermie
- Piekketel (gas)
- Restwarmte
- Warmte-koude-opslag (open/gesloten WKO)

De modelopbouw van deze bronnen vind je in de volgende paragrafen. De piekketel en restwarmte zijn al behandeld in vorige paragrafen.

Voor de verdeling van deze warmtebronnen zijn er (nog) geen landelijke gegevens beschikbaar. Daarom hanteren we binnen deze studie gelijke verdeling tussen de vier bronnen (25% per bron). Bij een update van deze milieuverklaring moet onderzocht worden of er data beschikbaar is om de praktijkverdeling tussen deze lage temperatuurbronnen te modelleren binnen een LT-net.

3.10.2 Transportfase (A4)

Bij het transport van warmte treden verliezen op. Op basis van de vijf grootste warmtenetten van Nederland, is dit bepaald op 27,4% bij hoge temperatuur. Voor lage temperatuur zijn geen vergelijkbare cijfers bekend, en dit is ook afhankelijk onder andere van de grootte en leeftijd van het warmtenet.

Er is een inschatting gemaakt van het warmteverliespercentage op basis van de cijfers over hoge temperatuur warmtenetten, waarbij wordt meegenomen dat warmteverlies recht evenredig is met temperatuurverschil ($W/m^2 \cdot K$). De lage temperatuur verliezen zijn bepaald door de ratio van de lage temperatuurnet van 30 graden te nemen ten opzichte van een temperatuur van 75 graden voor de hoge temperatuur warmtenet (gecorrigeerd op basis van het temperatuurverschil met de bodem, 10 graden). Het verlies komt dan uit op 8,43%¹⁶. Deze verliezen zijn meegenomen in de transportfase van elke lage temperatuur warmtebron.

In realiteit, een verliespercentage hangt niet alleen af van hoeveel warmte er weglekt, maar ook van hoeveel energie er in totaal door de buis stroomt. Bij een LT-net is de energiedichtheid per volumestroom lager en er moet dus meer water worden rondgepompt om dezelfde hoeveelheid energie te leveren dan bij HT-netten. Dit kan het verliespercentage weer doen stijgen. LT-netten zijn wel vaak beter geïsoleerd of maken gebruik van kunststofleidingen, wat het verlies in de praktijk nog verder kan verlagen.

Het warmtenet werkt met elektrische distributiepompen, die het warme water rondpompen. Uit praktijkgegevens van experts bij Vattenfall, blijkt, dat het kengetal voor de benodigde hulpenergie voor de pompen 2,5-5 kWh per GJ warmte geleverd is. Lage temperatuur netten hebben kleinere buizen en minder warmteverlies, dus het elektriciteitsverbruik distributiesystemen ligt lager, bij 2,5 kWh_{el} per GJ_{th}. Dit verbruik hanteren we in ons model voor module A4.

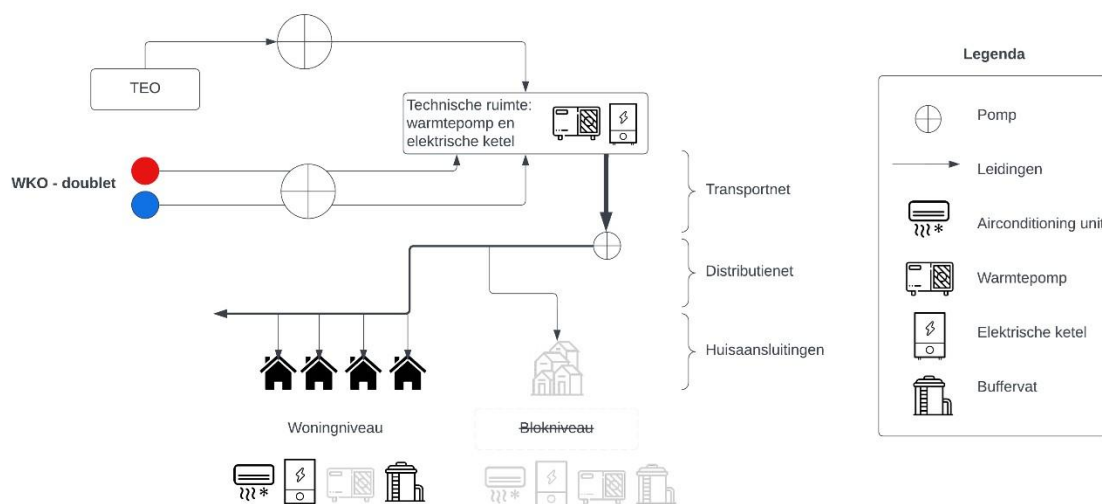
3.11 Warmtelevering, aquathermie (TEO), LT

Aquathermie betekent de benutting van de warmte én koude uit oppervlaktewater, afvalwater of drinkwater. De warmte of koude kan rechtstreeks benut worden of worden opgeslagen voor gebruik op een later moment. Warmte die gewonnen wordt moet opgewaardeerd worden om tot de gewenste temperatuur te komen. Er moet dus energie worden toegevoegd, in de vorm van elektriciteit.

3.11.1 Materialisatie infrastructuur

Wij gebruiken als basis een warmtenetconfiguratie, die bestaat uit TEO systeem met WKO (oftewel Open Bodem Energie Systeem, OBES) en technische ruimte met een collectieve warmtepomp en elektrische ketel voor piekvoorziening van warmte op basis van brondata van Deltares². In Figuur 3.9 staat de opbouw van het TEO-net. De onderdelen van het distributienet en huisaansluitingen worden niet meegenomen, omdat zij niet bij de warmtebron horen. De materialisatie van het warmtenet is gemodelleerd gezamenlijk voor alle bronnen in module A4.

¹⁶ $27.4\% \cdot (30-10)/(75-10) = 8,43\%$



Figuur 3.7

Opbouw warmtenetconfiguratie S4- lage-temperatuur met grondgebonden bouw

Op basis van dit TEO-systeem van het project Warmteconfiguraties Deltares hebben we de volgende onderdelen relevante infrastructuur geïnventariseerd:

Tabel 3.26

Inventarisatie relevante infrastructuur TEO-systeem

Onderdeel infrastructuur	Hoeveelheid per systeem
Leidingen TEO naar techniekruimte, Staal-PUR-PE, diam. 219 mm	500 m
Distributiepomp TEO	7 kW
Leidingen OBES naar techniekruimte, Staal-PUR-PE, diam. 219 mm	500 m
Distributiepomp OBES	8 kW
Techniekruimte	375 m ²
Warmtepomp warmtecentrale	12 x 162 kW
Elektrische ketel (piekvoorziening)	<i>buiten beschouwing gelaten</i>

Dit systeem levert warmte aan 1.000 grondgebonden woningen, waarbij de thermische vraag vast staat en wordt gespecificeerd voor ruimteverwarming (7.000 MWh/jaar), tapwaterbereiding (3.000 MWh/jaar) en koudelevering (430 MWh/jaar), in totaal 10.430.000 kWh per jaar.

Tabel 3.27

Inventarisatie en modellering leidingen TEO/WKO-systeem per kWh warmte geleverd

Materiaal	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Staal, buisprofiel	0318-fab&Staal, warmgewalst, buis- en kokerprofielen {GLO} (86,6% primair, 13,4% secundair)	4,57E-05 kg
PUR hardschuim	0032-fab&PUR, hardschuim (o.b.v. Polyurethane, rigid foam {RER} market for polyurethane, rigid foam Cut-off, U)	6,86E-06 kg
HDPE, buisprofiel	0185-fab&Polyetheen, HDPE, geëxtrudeerd (o.b.v. Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, U & Extrusion, plastic pipes {GLO} market for Cut-off, U)	7,29E-06 kg
Elektriciteit, productie leidingen	0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)	6,33E-07 kWh
Aardgas, productie leidingen	0111-pro&Aardgas, verbrand, bij consument, per m3	5,00E-07 m³
Transport materialen naar bouwplaats	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	7,15E-05 tkm
Zand voor aanleg	0168-fab&Zand, industriezand, ophoogzand, betonzand, drainagezand (o.b.v. Sand {RoW} market for sand Cut-off, U)	1,25E-03 kg
Diesilverbruik graafmachine voor aanleg	0335-pro&Diesilverbruik, bouwmachine cat. IIIB, 75-130kW, per l (diesel: 35,9 MJ/liter en 0,832 kg/liter)	3,54E-07 l
Lassen	0140-pro&Lassen, staal, arc, per meter (o.b.v. Welding, arc, steel {GLO} market for Cut-off, U)	1,10E-07 m

Tabel 3.28

Inventarisatie en modellering distributiepompen TEO/WKO-systeem per kWh warmte geleverd

Materiaal	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Aluminium	0151-fab&Aluminium (o.b.v. Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U; 26% primair, 74% secundair)	5,54E-09 kg
Gietijzer	0220-fab&Gietijzer (o.b.v. Cast iron {GLO} market for Cut-off, U; 61,3% primair, 38,7% secundair)	3,32E-07 kg
Koper, voor draad	0059-fab&Koper, kathode, voor draad (European mix for cathodes o.b.v. 49% Copper {RER} production, primary, 9% Copper {RER} treatment of scrap by electrolytic refining &	3,47E-08 kg

	42% Copper {GLO} market for; 79% primair, 21% secundair)	
Koper, voor plaat	0287-fab&Koper, semis, voor plaat en buis (o.b.v. 33% 0059-fab&koper, kathode, 67% Copper {RER} treatment of scrap by electrolytic refining; 26% primair, 74% secundair)	3,47E-08 kg
Koper plaat walsen	0609-pro&Walsen, staal (o.b.v. Sheet rolling, steel {GLO} market for Cut-off, U)	3,47E-08 kg
Koper draad trekken	0147-pro&Draad trekken, koper (o.b.v. Wire drawing, copper {GLO} market for Cut-off, U)	3,47E-08 kg
Polyvinylchloride (PVC)	0200-fab&PVC, folie (o.b.v. Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for Cut-off, U + Extrusion, plastic film {GLO} market for Cut-off, U)	8,31E-09 kg
Staal, hooggelegeerd	0202-fab&Staal, hooggelegeerd, RVS (o.b.v. Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, U; 72% primair, 28% secundair)	2,56E-07 kg
Rubber	0014-fab&EPDM, rubber, chloropreen, neoprene, styrene butadiene rubber - SBR (o.b.v. Synthetic rubber {GLO} market for Cut-off, U)	1,94E-09 kg
Elektriciteit, productie van pompen	0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030) (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	6,80E-07 kWh
Warmte, productie van pompen	0000-pro&Warmtelevering via warmtenet, Nederlandse mix, hoge temperatuur, bij consument, per kWh	1,51E-05 kWh
Transport naar bouwplaats	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	1,11E-07 tkm

Tabel 3.29

Materialisatie techniekruimte LT-warmtenet per kWh geleverde warmte per jaar

Materiaal	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Aluminium techniekruimte	0151-fab&Aluminium (o.b.v. Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U; 26% primair, 74% secundair)	2,16E-06 kg
Cementmortel techniekruimte	0068-fab&Cementmortel, metselspecie (Cement mortar {RoW} market for cement mortar Cut-off, U)	1,51E-05 kg

Baksteen techniekruimte	0008-fab&Baksteen, metselbaksteen, straatbaksteen, klinker (o.b.v. Clay brick {GLO}) market for Cut-off, U)	7,69E-05 kg
Beton techniekruimte	0005-fab&Betonmortel C30/37 (o.b.v. 75% CEM III en 25% CEM I), 2373,03 kg/m ³	2,18E-07 kg
Polystyreen techniekruimte	0007-fab&Polystyreen, EPS (o.b.v. Polystyrene foam slab {GLO}) market for Cut-off, U; 87% primair, 13% secundair)	3,88E-06 kg
Gewapend staal techniekruimte	0167-fab&Staal, wapening, ongelegeerd (betonstaal, wapeningsnet, vezels, voorspanstaal) (o.b.v. 21,5% Steel, unalloyed, 78,5% Steel, low-alloyed & Hot rolling, steel {GLO}) market for Cut-off, U; 17,8% primair, 82,2% secundair)	2,40E-05 kg
Steenwol techniekruimte	0013-fab&Steenwol (o.b.v. Stone wool {GLO}) market for stone wool Cut-off, U)	9,49E-06 kg
Verzinking	0314-pro&Verzinken, per m ² , incl. zink (o.b.v. 1 m ² Zinc coat, coils {GLO}) market for Cut-off, U) ("zinc coating layer is between 20 to 45 um thick")	3,83E-06 m ²
Glas techniekruimte	0019-fab&Glas, vlakglas (o.b.v. Flat glass, coated {RoW}) market for flat glass, coated Cut-off, U)	3,24E-06 kg
Dakbeplating techniekruimte	0040-fab&Houtvezelplaat, houtvezelcementplaat (o.b.v. Particleboard, cement bonded {RER}) market for Cut-off, U en 1200 kg/m ³ ; 71,8% primair, 28,2% secundair; 60% cement, 20% hout, 20% water))	2,37E-05 kg
Transport materialen naar de bouwplaats	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}) market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	2,44E-05 tkm
Elektriciteit, productie van materialen	0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)	3,02E-06 kWh
Dieselverbruik, bouwmaschine	0340-pro&Dieselverbruik, bouwmaschine cat. IV, alle vermogens, per l (diesel: 35,9 MJ/liter en 0,832 kg/liter)	1,91E-09 m ³

De warmtepompen zijn gemodelleerd als '*Heat pump, brine-water, 10kW {GLO}*| market for *heat pump, brine-water, 10kW* | Cut-off, U'. Voor het hele TEO/OBES-systeem zijn er 12 warmtepompen met vermogen van 162 kW nodig. De warmtepomp is schaalbaar naar het thermische vermogen tussen de 3-162 kW_{th}, referentiewaarde is 10 kW_{th}.² Volgens de

schalingsformule¹⁷ heeft de pomp van 162 kW 4,9 keer de massa van een 10 kW pomp. De levensduur is 15 jaar, volgens het Deltares-onderzoek. Het aantal warmtepompen nodig voor het leveren van 1 kWh warmte binnen dit systeem wordt dus $3,76E-7$ p na deling door de totale output van warmte.¹⁸

3.11.2 Productiefase (A1-A3)

De bronpompen van het TEO-systeem en het WKO/OBES-systeem verbruiken stroom om het water rond en omhoog te pompen. Voor dit is het model van boosterwarmtepomp gebruikt, met als basis het Ecoinvent-proces '*Heat, brine-water heat pump 10kW {Europe without Switzerland}* / *heat production, borehole heat exchanger, brine-water heat pump 10kW / Cut-off, U*'. Deze pomp is een conservatieve keuze, omdat ze voor deze toepassingen vaak groter zijn. Voor het elektriciteitsverbruik van de pomp gebruiken we een COP van 6,5. Hierdoor is het elektriciteitsverbruik van de pomp 0,154 kWh per kWh warmte.

3.11.3 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D)

De afvalverwerking, wat het storten en verbranden voor energie betreft, is al meegenomen in de gebruikte Ecoinvent-processen. Hieraan voegen we toe de recycling en de terugwinning van materiaal, op basis van de verwerkingsscenario's in Tabel 3.27.

Tabel 3.30

Verwerking materialen TEO infrastructuur einde leven per kWh warmte geproduceerd

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	% secundair	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik
staal, licht	4,57E-05	kg	21%	0%	1%	0%	87%	12%
polyurethaan	6,86E-06	kg	0%	0%	0%	100%	0%	0%
kunststoffen, overig	7,29E-06	kg	0%	0%	0%	90%	10%	0%
zand, grond	1,25E-03	kg	0%	0%	1%	0%	0%	99%
aluminium, uit B&U	2,16E-06	kg	74%	0%	3%	3%	94%	0%
metalen, gemengd	3,32E-07	kg	35%	0%	5%	5%	90%	0%

¹⁷ $M_{\text{schaalbaar}} = a * P^b$, waar a=schalingsfactor 39,81; P=vermogen van de pomp; en b=schalingsfactor 0,55
 Massa van de 162 kW pomp is dus $39,81 * 162^{0,55} = 653,5$ kg

Massa van de 10 kW pomp van het Ecoinvent-proces is 133,5 kg, dus er zijn 4,9 stuks van deze nodig om het gewenste vermogen te bereiken.

¹⁸ $4,9$ (schaling per massa) * 12 (aantal pompen nodig) / 15 (levensduur in jaren) / $10.430.000$ (thermische vraag van het systeem in kWh) = $3,76E-7$ p per kWh warmte

koper	8,64E-06	kg	72,5%	0%	5%	0%	95%	0%
staal, wapening	5,43E-05	kg	82,2%	0%	5%	0%	95%	0%
pvc, folies	8,31E-09	kg	0%	0%	10%	85%	5%	0%
staal, zink / verzinkt staal	2,56E-07	kg	49%	0%	5%	0%	95%	0%
elastomeren (o.a. epdm)	1,94E-09	kg	0%	0%	10%	85%	5%	0%
puin, gemengd	1,51E-05	kg	0%	0%	90%	10%	0%	0%
steenachtig, overig	7,69E-05	kg	0%	0%	1%	0%	99%	0%
beton	2,18E-07	kg	0%	0%	1%	0%	99%	0%
EPS	3,88E-06	kg	13%	0%	0%	35%	65%	0%
steenwol	9,49E-06	kg	0%	0%	85%	5%	10%	0%
glas	3,24E-06	kg	0%	0%	30%	0%	70%	0%
plaatmateriaal, verontreinigd	2,37E-05	kg	28,2%	0%	5%	95%	0%	0%

3.12 Warmtelevering, warmte-koude-opslag (WKO), LT

In de zomer wordt overtollige warmte uit een gebouw opgeslagen in de bodem om 's winters te worden gebruikt voor de verwarming. Omdat het water te koud is om direct mee te verwarmen, wordt gebruik gemaakt van een warmtepomp. In de zomer kan je het afgekoelde water gebruiken voor koeling.

3.12.1 Materialisatie infrastructuur

We hebben onderscheid gemaakt tussen een open en gesloten WKO.

Open WKO

Een open WKO maakt gebruik van grondwater als koudemiddel. In de zomer wordt warm grondwater opgepompt en opgeslagen in de bodem, terwijl in de winter dit warme water weer wordt gebruikt om gebouwen te verwarmen. Het afgekoelde water gaat terug de bodem in. Dit systeem is zeer efficiënt, maar vereist geschikte bodem- en

grondwateromstandigheden. Deze techniek wordt vooral toegepast bij een warmtenet met een thermische vraag van >1.000 kW. Dit is circa 20.000 m² of 500 woningen¹⁹.

We hebben van de volgende onderdelen relevante infrastructuur geïnventariseerd:

- Twee buizen van 150 meter (diameter 200 mm)
- Distributiepomp van 5 kW

De buizen zijn Staal-PUR-PE, oftewel VPS-leidingen, met een stalen kern en PUR-schuimisolatie met een hard laagje PE daarop. Dezelfde materialisatie is gebruikt voor deze leidingen als voor de DN200-leidingen van aquathermie op basis van gegevens van Deltares². Daarnaast hebben we de aanname gemaakt dat de buis 150 m diep zit²⁰. De levensduur van het buismateriaal is 50 jaar en de jaarlijkse warmtelevering (tijdens de winterperiode) van het systeem 2,2 GWh. De inventarisatie is teruggerekend naar 1 jaar en per kWh warmte geleverd per jaar.

Tabel 3.31

Inventarisatie en modellering open WKO systeem – buismateriaal (1 jaar)

Onderdeel infrastructuur	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Buismaterialen, staal	0318-fab&Staal, warmgewalst, buis- en kokerprofielen {GLO} (86,6% primair, 13,4% secundair)	6,52E-05 kg
Buismaterialen, polyurethaanschuim	0032-fab&PUR, hardschuim (o.b.v. Polyurethane, rigid foam {RER} market for polyurethane, rigid foam Cut-off, U)	9,81E-06 kg
Buismaterialen, HDPE	0185-fab&Polyetheen, HDPE, geëxtrudeerd (o.b.v. Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, U & Extrusion, plastic pipes {GLO} market for Cut-off, U)	1,04E-05 kg
Productie van buizen, elektriciteit	0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)	9,04E-07 kWh
Productie van buizen, aardgas	0111-pro&Aardgas, verbrand, bij consument, per m ³ (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)	7,14E-07 m ³
Productie van buizen, PUR	0375-pro&Extruderen, kunststof (exclusief kunststof) (o.b.v. Extrusion, co-extrusion {GLO} market for Cut-off, U; "1 kg of this process equals 0.969 kg / kg of raw material input.")	9,81E-06 kg
Verdeelstuk van messing	0056-fab&Messing (o.b.v. Brass {RoW} production Cut-off, U; 70% koper waarvan 80,1% primair, 19,9% secundair; 30% zink waarvan 100% primair)	1,21E-07 kg

¹⁹ [Open of gesloten bodemenergie? | Bodemenergie](#)

²⁰ Bijvoorbeeld RVO noemt, dat een open WKO-systeem vaak tussen 80 en 200 meter diep is: [Ondiepe bodemenergie – open systemen | RVO.nl](#)

Opvulling put, cement	0172-fab&Cement, CEM I [NL-PCR Cement]	3,49E-07 kg
Opvulling put, klei	0188-fab&Klei (o.b.v. Clay {RoW}) market for clay Cut-off, U)	6,94E-08 kg
Wapeningstaal	0167-fab&Staal, wapening, ongelegeerd (betonstaal, wapeningsnet, vezels, voorspanstaal) (o.b.v. 21,5% Steel, unalloyed, 78,5% Steel, low-alloyed & Hot rolling, steel {GLO}) market for Cut-off, U; 17,8% primair, 82,2% secundair)	6,03E-07 kg
Transport van materialen	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}) market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	1,02E-04 tkm
Zand voor aanleg	0168-fab&Zand, industriezand, ophoogzand, betonzand, drainagezand (o.b.v. Sand {RoW}) market for sand Cut-off, U)	1,79E-03 kg
Graafmachine voor aanleg	0335-pro&Dieselverbruik, bouwmaschine cat. IIIB, 75-130kW, per l (diesel: 35,9 MJ/liter en 0,832 kg/liter)	5,06E-07 l
Lassen van buizen	0140-pro&Lassen, staal, arc, per meter (o.b.v. Welding, arc, steel {GLO}) market for Cut-off, U)	1,57E-07 m

De materialisatie voor de distributiepomp is overgenomen van een eerder gemaakt model van Deltares². Op dit model is een schaling toegepast, omdat het referentieproduct 22 kW is, en de benodigde distributiepomp 5 kW is²¹. Een open WKO doublet levert ca. 500 kW op bij indirecte levering. Dit is op basis van een achtergrondtemperatuur van 12 graden. Hierbij geldt een debiet van ca. 55 m³/uur²². Hierbij is een distributiepomp van ca. 5 kW benodigd, met de aanname dat de totale opvoerhoogte 25 meter bedraagt, en dat de pompefficiëntie 0,7 is. De totale drukverliezen zijn opgebouwd uit een inschatting van de verlaging van de waterstand door het pompen, de weerstand van de warmtewisselaar en de wrijving in

²¹ De standaard hydraulische pompkrachtformule is $P = \rho * g * Q * H$

Waarbij:

ρ = dichtheid van water (1000 kg/m³)

g = versnelling door zwaartekracht (9,81 m/s²)

Q = debiet in m³/s

H = totale opvoerhoogte in meters

55 m³/uur is 0,0153 m³/s. Daarom wordt de formule:

$P = 1000 \text{ kg/m}^3 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,0153 * 25 \text{ m}$

$P = 3746,88 \text{ W}$, met een efficiëntie van 70% is 5352,68 W nodig. Dit is afgerond 5 kW.

Formule uit: <https://www.ircwash.org/sites/default/files/Pearson-2001-Guidelines.pdf> - blz. 24

²² Warmte uit Water. Verkennende studie naar vier varianten voor de winning van thermische energie uit oppervlaktewater. Royal Haskoning (2022)

bovengrondse leidingen en appendages²³. De schaalfactor is 0,421, en de pomp heeft een levensduur van 20 jaar. De inventarisatie is teruggerekend naar 1 jaar.

Tabel 3.32

Inventarisatie en modellering distributiepomp open WKO systeem per kWh warmte geleverd

Onderdeel infrastructuur	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Distributiepomp (5 kW)	0151-fab&Aluminium (o.b.v. Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U; 26% primair, 74% secundair)	1,10E-08 kg
Distributiepomp (5 kW)	0220-fab&Gietijzer (o.b.v. Cast iron {GLO} market for Cut-off, U; 61,3% primair, 38,7% secundair)	6,57E-07 kg
Distributiepomp (5 kW)	0059-fab&Koper, kathode, voor draad (European mix for cathodes o.b.v. 49% Copper {RER} production, primary, 9% Copper {RER} treatment of scrap by electrolytic refining & 42% Copper {GLO} market for; 82,4% primair, 17,6% secundair)	6,86E-08 kg
Distributiepomp (5 kW)	0287-fab&Koper, semis, voor plaat en buis (o.b.v. 33% 0059-fab&koper, kathode, 67% Copper {RER} treatment of scrap by electrolytic refining; 27,5% primair, 72,5% secundair)	6,86E-08 kg
Distributiepomp (5 kW)	0147-pro&Draad trekken, koper (o.b.v. Wire drawing, copper {GLO} market for Cut-off, U)	6,86E-08 kg
Distributiepomp (5 kW)	0200-fab&PVC, folie (o.b.v. Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for Cut-off, U + Extrusion, plastic film {GLO} market for Cut-off, U)	1,65E-08 kg
Distributiepomp (5 kW)	0202-fab&Staal, hooggelegeerd, RVS (o.b.v. Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for Cut-off, U; 72% primair, 28% secundair)	5,06E-07 kg
Distributiepomp (5 kW)	0002-fab&Schuimbeton (o.b.v. info uit 2002 en 1995), 500 kg/m3	3,84E-09 kg

Gesloten WKO

Het gesloten bronsysteem, ook wel een verticale bodemwisselaar genoemd, bestaat uit gesloten leidinglussen die in de bodem zijn aangebracht. Via deze lussen wordt warmte aan

²³ Verlaging van de waterstand door het pompen is berekend met behulp van Grafiek 1 uit "Bijlage 3. Effect-beschouwing bij middelgrote en kleine open bodemenergiesystemen" van Handreiking open bodemenergiesystemen - BUM OBES (2022). Hierbij is een doorlaatvermogen van 500 m³/dag gehanteerd (uit: Bouwstenen voor afweging en beleid bodemenergie van Berenschot en Arcadis (2025)). Het debiet gedeeld door het doorlaatvermogen ter hoogte van het filtertraject is (500 m³/dag / 55 m³/uur) 0,11. Van de grafiek af te lezen is dit 3 meter. Voor de filter- en instroomweerstand, injectieweerstand, leidingwrijving en appendages en componenten is een weerstand van +- 16,5 meter ingeschat. Dit is gedaan op basis van het rapport van CE Delft: "Weg van gas" (2018). Daarnaast is gerekend met 5 meter drukverlies door de warmtewisselaar.

de bodem onttrokken of juist aan de bodem afgegeven. Deze techniek wordt vooral toegepast bij kleinschalige installaties, bij een warmtepomp met een vermogen van 0 tot 100 kW. Dit is circa 2.000 m² of 50 woningen²⁴.

We hebben de volgende onderdelen relevante elementen geïnventariseerd:

- Leidinglussen 200 meter met koudemiddel
- Distributiepomp 1,77 kW

De buismaterialen zijn gebaseerd op een LCA-studie uit de VK²⁵. Voor het gesloten systeem is dit geschaald naar 200 meter diepte. De jaarlijkse warmtelevering (tijdens de winterperiode) van het systeem is 41.624 kWh²⁸. De inventarisatie is teruggerekend naar 1 jaar en per kWh warmte geleverd per jaar.

Tabel 3.33

Inventarisatie en modellering leidinglussen gesloten WKO systeem per kWh geleverde warmte per jaar

Onderdeel infrastructuur	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Bodemlus, HDPE	0185-fab&Polyetheen, HDPE, geëxtrudeerd (o.b.v. Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Cut-off, U & Extrusion, plastic pipes {GLO} market for Cut-off, U)	5,79E-05 kg
Bodemlus, LDPE	0012-fab&Polyetheen, LDPE, folie (o.b.v. Packaging film, low density polyethylene {GLO} market for Cut-off, U)	9,03E-07 kg
Koelmiddel glycol	0488-fab&Koelmiddel, glycol (o.b.v. "Diethylene glycol {RER} ethylene glycol production Cut-off, U")	3,21E-05 kg
Verdeelstuk van messing	0056-fab&Messing (o.b.v. Brass {RoW} production Cut-off, U; 70% koper waarvan 80,1% primair, 19,9% secundair; 30% zink waarvan 100% primair)	1,27E-06 kg
Bodemlus, staal	0167-fab&Staal, wapening, ongelegeerd (betonstaal, wapeningsnet, vezels, voorspanstaal) (o.b.v. 21,5% Steel, unalloyed, 78,5% Steel, low-alloyed & Hot rolling, steel {GLO} market for Cut-off, U; 17,8% primair, 82,2% secundair)	6,34E-06 kg
Walsen metaal	0433-pro&Walsen, staal, warmwalsen (o.b.v. Hot rolling, steel {RER} processing Cut-off, U)	1,27E-06 kg
Zand voor aanleg	0168-fab&Zand, industriezand, ophoogzand, betonzand, drainagezand	1,35E-03 kg

²⁴ [Open of gesloten bodemenergie? | Bodemenergie](#)

²⁵ [Domestic heat pumps: Life cycle environmental impacts and potential implications for the UK - ScienceDirect](#)

	(o.b.v. Sand {RoW}) market for sand Cut-off, U)	
Diesilverbruik aanleg	0340-pro&Diesilverbruik, bouwmaschine cat. IV, alle vermogens, per l (diesel: 35,9 MJ/liter en 0,832 kg/liter)	1,45E-05 l
Opvulling put, cement	0172-fab&Cement, CEM I [NL-PCR Cement]	1,22E-05 kg
Opvulling put, bentoniet	0522-fab&Bentoniet (o.b.v. Bentonite {GLO}) market for Cut-off, U)	2,43E-06 kg
Transport van materialen	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}) market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	1,48E-05 tkm

Een gesloten WKO levert ca. 9,5 kW_{thermisch} op wanneer een warmtepomp gebruikt wordt en het debiet ca. 11,36 m³/uur²⁶ is. Hierbij is een distributiepomp van ca. 1,77 kW benodigd, met de aanname dat de totale opvoerhoogte 40 meter bedraagt. De opvoerhoogte is een inschatting op basis van de opvoerhoogte van een open WKO-systeem, de opvoerhoogte van een open WKO-systeem is 25 meter. Aangezien de leidingen van een gesloten WKO-systeem langer zijn dan een open WKO-systeem, en dus een hogere weestand van deze lussen overwonnen moet worden, is van 40 meter opvoerhoogte uitgegaan. De schaalfactor is 0,311, en de pomp heeft een levensduur van 20 jaar. De inventarisatie is teruggerekend naar 1 jaar en per kWh warmte geleverd per jaar.

Tabel 3.34

Inventarisatie en modellering distributiepomp gesloten WKO systeem per kWh geleverde warmte per jaar

Onderdeel infrastructuur	Ecoinvent-proces	Hoeveelheid per kWh warmte
Distributiepomp (1,77 kW) aluminium	0151-fab&Aluminium (o.b.v. Aluminium, cast alloy {GLO}) market for Cut-off, U; 26% primair, 74% secundair)	4,26E-07 kg
Distributiepomp (1,77 kW) gietijzer	0220-fab&Gietijzer (o.b.v. Cast iron {GLO}) market for Cut-off, U; 61,3% primair, 38,7% secundair)	2,56E-05 kg
Distributiepomp (1,77 kW) koper voor draad	0059-fab&Koper, kathode, voor draad (European mix for cathodes o.b.v. 49% Copper {RER}) production, primary, 9% Copper {RER}) treatment of scrap by electrolytic refining & 42% Copper {GLO}) market for; 82,4% primair, 17,6% secundair)	2,67E-06 kg
Distributiepomp (1,77 kW) koper voor plaat	0287-fab&Koper, semis, voor plaat en buis (o.b.v. 33% 0059-fab&koper, kathode, 67% Copper {RER}) treatment of scrap by electrolytic refining; 27,5% primair, 72,5% secundair)	2,67E-06 kg

²⁶ <https://waterwelljournal.com/geothermal-system-design-2/>

Distributiepomp (1,77 kW) metaal walsen	0433-pro&Walsen, staal, warmwalsen (o.b.v. Hot rolling, steel {RER}) processing Cut-off, U)	2,24E-05 kg
Distributiepomp (1,77 kW) koper draad trekken	0147-pro&Draad trekken, koper (o.b.v. Wire drawing, copper {GLO}) market for Cut-off, U)	2,67E-06 kg
Distributiepomp (1,77 kW) PVC	0200-fab&PVC, folie (o.b.v. Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO}) market for Cut-off, U + Extrusion, plastic film {GLO}) market for Cut-off, U)	6,39E-07 kg
Distributiepomp (1,77 kW) staal	0202-fab&Staal, hooggelegeerd, RVS (o.b.v. Steel, chromium steel 18/8 {GLO}) market for Cut-off, U; 72% primair, 28% secundair)	1,97E-05 kg
Beton voor aanleg	0002-fab&Schuimbeton (o.b.v. info uit 2002 en 1995), 500 kg/m ³	1,49E-07 kg
Elektriciteit voor productie materialen	0494-pro&Elektriciteit, Grijs, bij consument, per kWh (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)	5,23E-05 kWh
Warmte voor productie materialen	0498-pro&Warmtelevering via warmtenet, Hoge Temperatuur, Grijs, bij consument, per MJ	4,97E-04 MJ
Transport materialen	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}) market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	7,77E-06 tkm

De boosterwarmtepomp voor het opwaarderen van warmte voor het LT-net is gemodelleerd op basis van het Ecoinvent-proces '*Heat, brine-water heat pump 10kW {Europe without Switzerland}*' / *heat production, borehole heat exchanger, brine-water heat pump 10kW | Cut-off, U*'. Zie Tabel 3.12 voor volledige materialisatie.

3.12.2 Productiefase (A1-A3)

Open WKO

Voor een distributiepomp van 5 kW is een elektriciteitsverbruik van 30.660 kWh per jaar nodig, met de aanname dat de distributiepomp in continu bedrijf is en een gemiddelde belasting heeft van 70%. Zoals omschreven in de materialisatie, levert dit een basiswarmteleveringsvermogen van 500 kW thermische energie op in de winterperiode. Het WKO-systeem wordt voornamelijk gebruikt om opgeslagen warmte uit de bodem te halen in de winter. Daarom gaan wij uit van 4.380 uur/jaar²⁷ voor de periode van warmtelevering. Dit levert 2,2 GWh/ jaar aan thermische energie op per doublet.

Gesloten WKO

In deze variant levert het gesloten TEO-systeem altijd een deel van, of de volledige, warmtevraag, afhankelijk van het seizoen. In de koudste drie maanden leveren de WKO-bronnen de helft van het gevraagde vermogen om zo de efficiëntie van de warmtepomp te

²⁷ Distributiepomp draait zes maanden van het jaar (koude periode). Dat is een halve jaar, dus $24 \cdot 365 / 2 = 4.380$ uur

verhogen. In de warmste drie maanden worden de bronnen geregenereerd door het gesloten TEO-systeem. Voor een distributiepomp van 1,77 kW is een elektriciteitsverbruik van 5.427 kWh per jaar nodig, met de aanname dat de distributiepomp zes maanden in bedrijf is en een efficiëntie heeft van 70%. Zoals omschreven in de materialisatie, levert dit ca 3,52 kW op. Dit is een maximaal thermisch vermogen, in werkelijkheid zal dit lager liggen. Daarom gaan wij uit van 4.380 uur/jaar aan basislast. Dit levert dus 41.624 kWh per jaar op.²⁸

Boosterwarmtepomp

Voor het opwaarderen van warmte uit de WKO is een boosterwarmtepomp gemodelleerd. We hebben het Ecoinvent-proces '*Heat, brine-water heat pump 10kW {Europe without Switzerland}/ heat production, borehole heat exchanger, brine-water heat pump 10kW / Cut-off, U'* als basis genomen. Voor het elektriciteitsverbruik van de pomp gebruiken we een COP van 6,5, wat betekent dat per kWh warmte geleverd verbruikt het 0.154 kWh aan elektriciteit.

3.12.3 Verwerkingsfase en baten en lasten buiten systeemgrenzen (C3, C4 en D)

De meegenomen scenario's zijn weergegeven in tabel 3.32 en 3.33 voor de open WKO leidingen, en in tabel 3.34 en 3.35 voor de gesloten WKO.

Tabel 3.35

Specifieke verwerkingsscenario's en uitgangspunten – open WKO leidingen

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	% secundair	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik
staal, constructie-profielen	6,52E-05	kg	13,4%	0%	1%	0%	94%	5%
polyurethaan	9,81E-06	kg	0%	0%	0%	100%	0%	0%
kunststoffen, overig	1,04E-05	kg	0%	0%	0%	90%	10%	0%
zand, grond	1,79E-03	kg	0%	0%	1%	0%	0%	99%

²⁸ Dit is berekend op basis van $GPM * 500.4 * \Delta T$ (volgens bron: <https://aaaheatingandcoolinginc.com/what-does-btu-mean/>)

Hierbij is ΔT in Fahrenheit, dus $\Delta T = 12$ graden Celsius = 21,6 Fahrenheit.

$3 \text{ GPM} * 500,4 \text{ (dichtheid van water in lb/gal} * \text{min/uur} * \text{soortelijke warmte)} * 21,6 \text{ (}\Delta T \text{ in Fahrenheit)} = 32426 \text{ BTU/uur}$
 $1 \text{ BTU/h} = 0,000293 \text{ kW}$
 $32426 \text{ BTU/uur} = 9,5 \text{ kW}$
 $4380 \text{ uur per jaar} = 41.623,6 \text{ kW in totaal}$

Tabel 3.36

Specifieke verwerkingsscenario's en uitgangspunten – open WKO distributiepomp

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	% secundair	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik
aluminium, uit B&U	1,10E-08	kg	74,0%	0%	3%	3%	94%	0%
metalen, gemengd	6,57E-07	kg	38,7%	0%	5%	5%	90%	0%
koper, gemengd	6,86E-08	kg	17,6%	0%	10%	5%	85%	0%
koper	6,86E-08	kg	72,5%	0%	5%	0%	95%	0%
pvc, folies	1,65E-08	kg	0,0%	0%	10%	85%	5%	0%
staal, zink / verzinkt staal	5,06E-07	kg	28,0%	0%	5%	0%	95%	0%
beton	3,84E-09	kg	0,0%	0%	1%	0%	99%	0%

Tabel 3.37

Specifieke verwerkingsscenario's en uitgangspunten – gesloten WKO bodemlus

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	% secundair	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik
kunststoffen, overig	5,79E-05	kg	0%	0%	0%	90%	10%	0%
polyolefinen (o.a. pe, pp)	9,03E-07	kg	0%	0%	10%	85%	5%	0%
metalen, overig	1,27E-06	kg	19,9%	0%	5%	5%	90%	0%
staal, wapening	6,34E-06	kg	82,2%	0%	5%	0%	95%	0%
zand, grond	1,35E-03	kg	0%	100%	0%	0%	0%	0%

Tabel 3.38

Specifieke verwerkingsscenario's en uitgangspunten – gesloten WKO distributiepomp

Materiaal	Hoeveelheid	Eenheid	% secundair	Laten zitten	Stort	AVI	Recycling	Hergebruik
-----------	-------------	---------	-------------	--------------	-------	-----	-----------	------------

aluminium, uit B&U	4,26E-07	kg	74,0%	0%	3%	3%	94%	0%
metalen, gemengd	2,56E-05	kg	38,7%	0%	5%	5%	90%	0%
koper, gemengd	2,67E-06	kg	17,6%	0%	10%	5%	85%	0%
koper	2,67E-06	kg	72,5%	0%	5%	0%	95%	0%
pvc, folies	6,39E-07	kg	0,0%	0%	10%	85%	5%	0%
staal, zink / verzinkt staal	1,97E-05	kg	28,0%	0%	5%	0%	95%	0%
beton	1,49E-07	kg	0,0%	0%	1%	0%	99%	0%

Voor het verwerken van onderdelen boosterwarmtepomp, zie Tabel 3.22.

3.13 Warmtelevering WLC-GWP

Binnen WLC-GWP studies kunnen warmtenetten worden toegepast. De mix-data en de individuele bron data komt overeen met bovengenoemde modellering. Het enige verschil is de toegepaste elektriciteitsmix voor warmtelevering. De elektriciteitsmix wordt aangepast naar de WLC-GWP 2025-2075 mix in kopieën van deze milieuverklaringen.

4. Milieuprestatie producten (LCA)

In het vorige hoofdstuk zijn voor de beschouwde producten de processen per module vastgesteld. Door koppeling aan de NMD-processendatabase zijn de ingrepen bepaald en vertaald naar milieuprofielen en MKI. Zie bijlage 1 voor de toegepaste versies van de Bepalingsmethode, NMD-processendatabase, EcolInvent en gebruikte software.

Conform paragraaf 3.5 van de Bepalingsmethode zijn deze effectcategorieën omgerekend naar een milieukosten indicator (MKI) in euro's.

4.1 Milieuprofielen en MKI per product

Het wegen van resultaten is een proces waarbij de resultaten van verschillende milieueffectcategorieën worden omgezet naar een 1 punt score zodat ze integraal beschouwd kunnen worden. In deze studie wordt, conform de Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW werken, gebruikgemaakt van de Milieu Kosten Indicator (MKI) om de verschillende effectcategorieën te wegen tot één eindpunt.

Deze MKI's van de complete producten, zijn in de bijlage Resultaten warmtelevering weergegeven voor de verschillende varianten.

4.2 Zwaartepuntanalyse: duiding van de resultaten

De volgende figuren geven de zwaartepunten weer van de componenten voor de verschillende variaties van complete elementen. Hier is zichtbaar dat de meeste impact zit in fase A1-A3. Daarom is ook een uitsplitsing gemaakt naar materiaal in fase A1-A3. Daarnaast is er ook gekeken naar de impact van componenten binnen een product.

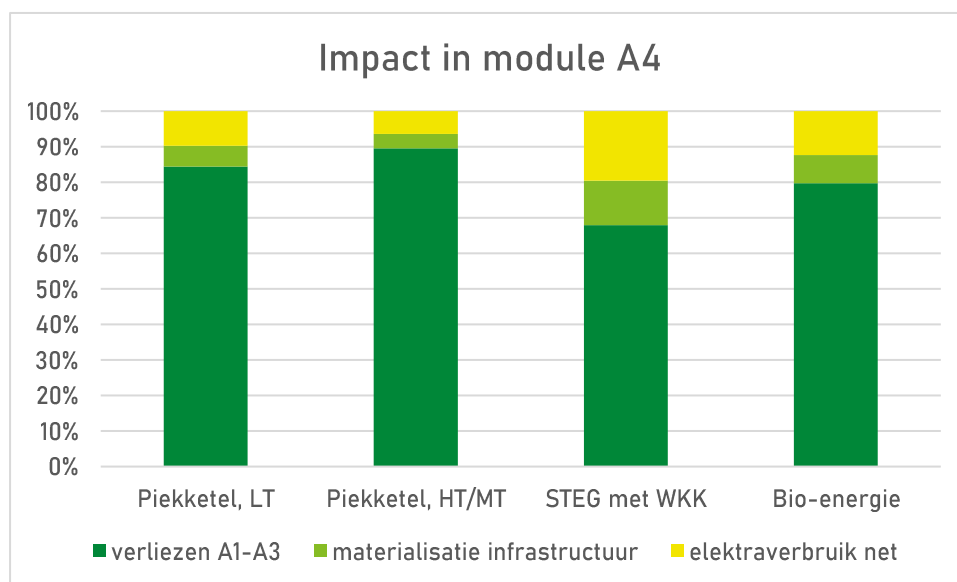
In de bijlage Resultaten warmtelevering worden de MKI resultaten en zwaartepunt analyses per product weergegeven.

4.3 Gevoeligheidsanalyse

4.3.1 Impact distributiepompen materialisatie HT-warmtenet

Voor het modelleren van de lage temperatuur warmtenet hebben we een volledige inventarisatie van Deltares-onderzoek gebruikt. Daarbij zijn ook de distributiepompen en de overige technische ruimte geïnventariseerd. Echter, in de achtergronddata van de hoge temperatuur warmtenet was dit niet geval en zijn alleen de distributieleidingen meegenomen.

De impact van materialisatie infrastructuur bij transportfase (A4) blijkt beperkt te zijn in vergelijking met de verliezen, zie Figuur 4.1. Hierdoor zien we, dat de impact van een volledige inventarisatie van het HT-net weinig invloed zou hebben in het totaalplaatje.



Figuur 4.1
Impact onderdelen warmtetransport per MKI

4.3.2 Alternatieve samenstelling HT-warmtebronnen Nederlandse mix

Voor de landelijke verdeling van HT-warmtebronnen hebben we in eerste instantie gebruik gemaakt van de warmte-etiketten van de vijf grootste warmtenetten van 2024, zie Tabel 4.1. Op basis van deze inventarisatie is een gewogen gemiddelde berekend als proxy.

Tabel 4.1

Bronnen en warmtelevering in GJ van de vijf grootste warmtenetten (representatief voor 57,4% van het totaal aan grote netten) in 2024

Bedrijf	Warmtenet	Warmtelevering, GJ per jaar	Restwarmte	Biomassa	AVI	STEG	Pieketel	Gasmotoren (WKK)
Eneco	Regio Rotterdam	2.609.421	5%	14%	16%	30%	35%	0%
Eneco	Utrecht-Nieuwegein	2.346.994	3%	41%	0%	39%	17%	0%
Ennatuurlijk	Midden en West-Brabant	1.957.811	0%	7%	0%	49%	43%	0%
Vattenfall	Amsterdam Zuid en Oost	1.743.728	0%	0%	6%	77%	13%	4%
Vattenfall	Almere	1.698.391	0%	5%	0%	81%	14%	0%
		gewogen gemiddelde	2%	15%	5%	52%	25%	1%

De gasmotoren (WKK) worden bij STEG toegevoegd ($52\%+1\%=53\%$). Gasmotoren hebben ongeveer dezelfde functie als STEG, maar zijn niet los gemodelleerd binnen deze studie. Aardwarmte wordt niet als een bron genoemd bij deze grote netten, dus het aandeel daarvan wordt als 0% beschouwd.

In werkelijkheid bestaat er geen gemiddeld Nederlandse warmtenet, zoals er is te zien uit de brede verspreiding van bronnen. Bovendien, beschouwen we de inventarisatie van Greenvis veel grondiger en meer representatief vanwege de landelijke aanpak en expertinterviews. Hun studie is ook gebruikt voor het opzetten van wettelijke kaders en duurzaamheidsdoelstellingen van warmtenetten, en hiervoor hebben we gekozen om deze te gebruiken.

5. Referenties

- NEN-EN-ISO 14040 Environmental management –Life cycle assessment –Principles and framework (ISO 14040:2006,IDT), juli 2006
- NEN-EN-ISO 14044 Environmental management –Life cycle assessment –Requirements and guidelines (ISO 14044:2006,IDT), juli 2006
- NEN-EN 1580+A2:2019 Duurzaamheid van bouwwerken –Milieuverklaringen van producten –Basisregels voor de productgroep bouwproducten, november 2019
- Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken, versie 1.2 (januari 2025)
- Protocol Initiëren, opstellen en peer reviewen categorie 3 data (versie augustus 2025)
- Processendatabase (Nationale Milieu Database): NMD versie 3.11
- Ecolnvent Database versie 3.6 voor set 1 en versie 3.9.1 voor set 2

Bijlagen

Bijlage 1: Databronnen per milieuverklaring

De LCA-berekeningen voor alle milieuverklaringen in versie 1 van dit rapport zijn opgesteld op basis van de volgende databronnen:

- Bepalingsmethode 'Milieuprestatie Bouwwerken' versie 1.2 (januari 2025)
- Processendatabase Nationale Milieudatabase (NMD) versie 3.11
- EcolInvent database versie 3.6 voor set A1 en versie 3.9.1 voor set A2
- Software: De categorie 3 invoermodule Excel spreadsheet

Bijlage 2: Opbouw van milieuverklaringen per module

Aardwarmte

Outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten			Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid	Afvaltype	Allocatie	Categorie	Opmerking
0000-pro&Warmtelevering, aardwarmte (2.000 m diep), hoge temperatuur, bij consument, per kWh			1		kWh	Energy	niet gedefin...	100 %	_3Warmte
Regel invoegen									
Outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten			Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of ZSD	Min	Max	Opmerking
Regel invoegen									
Invoer									
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)		Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of ZSD	Min	Max	Opmerking
Methane		in water	0,001	kg	Ongedefinieerd				A1-A3 Input formatiegas die verbrand wordt voor warmte
Regel invoegen									
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)									
0000-fab&Warmtelevering, aardwarmte (2.000 m diep), hoge temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur,...			1,377		kWh	Ongedefinieerd			A1-A3 Materialisatie bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT
0000-fab&Dimethylamine (o.b.v. Dimethylamine (RER) market for dimethylamine Cut-off, U)			2,74E-4*1,377 = 0,000377		kg				A1-A3 Corrosiemmer + A4 verliezen in warmtenet HT/MT
0000-pro&Warmteproductie, aardgas, in industriële oven > 100 kW (o.b.v. Heat, district or industrial, natural gas (Europe without Switzerland) heat production, natural gas, at industrial furnace > 100kW Cut-off, U)			0,0672*1,377 = 0,0925		kWh				A1-A3 Het proces van verbranden formatiegas zonder aardgasinput, het methaan apart meegenomen in inputs uit de natuur + A4 verliezen in warmtenet HT/MT
0111-pro&Aardgas, verbrand, bij consument, per m3 (o.b.v. zie toelichting in proces), (01-2028)			-2,44E-17*1,377 = -3,36E-17		m3				A1-A3 Compensatie van aardgasinput van het verbrandingsproces + A4 verliezen in warmtenet HT/MT
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting...)			0,054*1,377 = 0,0744		kWh				A1-A3 Elektriciteitsverbruik bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT
0000-fab&Warmtenet, hoge temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (A4)			1		kWh	Ongedefinieerd			A4 Materialisatie warmtenet HT/MT
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting...)			0,018		kWh	Ongedefinieerd			A4 Elektriciteitsverbruik warmtenet HT/MT
0000-fab&Warmtenet, hoge temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (D)			1		kWh	Ongedefinieerd			module D Warmtenet HT/MT
0000-pro&Warmtelevering, aardwarmte (2.000 m diep), hoge temperatuur, bij consument, per kWh (D)			1,377		kWh	Ongedefinieerd			module D Bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT
Regel invoegen									
Bekende inputs uit de technosfeer (elektriciteit, warmte)									
Regel invoegen									
Uitvoer									
Emissies naar de lucht		Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of ZSD	Min	Max	Opmerking
Regel invoegen									
Emissies naar water		Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of ZSD	Min	Max	Opmerking
Dimethylamine		groundwater	2,74E-4*1,377 = 0,000...	kg					Emissies van de corrosiemmer naar het grondwater. Er wordt aangenomen dat alle corrosiemmer in het milieu terecht komt.
Regel invoegen									

AVI

Outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten			Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid	Afvaltype	Allocatie	Categorie	Opmerking
0000-pro&Warmtelevering, aftapwarmte afvalverwerkingsinstallatie (AVI), mix fossiel/hernieuwbaar...			1		kWh	Energy	niet gedefin...	100 %	_3Warmte
Regel invoegen									
Outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten			Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of ZSD	Min	Max	Opmerking
Regel invoegen									
Invoer									
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)		Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of ZSD	Min	Max	Opmerking
Regel invoegen									
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)									
0000-fab&Warmtelevering, aftapwarmte afvalverwerkingsinstallatie (AVI), mix fossiel/hernieuwbaar, hoge temperatuur, bij consument, materialisati...			1,377		kWh	Ongedefinieerd			A1-A3 Materialisatie bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)			0*1,377 = 0		kWh				A1-A3 Elektriciteitsverbruik bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT
0000-fab&Warmtenet, hoge temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (A4)			1		kWh	Ongedefinieerd			A4 Materialisatie warmtenet HT/MT
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)			0,018		kWh	Ongedefinieerd			A4 Elektriciteitsverbruik warmtenet HT/MT
0000-fab&Warmtenet, hoge temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (D)			1		kWh	Ongedefinieerd			module D Warmtenet HT/MT
0000-pro&Warmtelevering, aftapwarmte afvalverwerkingsinstallatie (AVI), mix fossiel/hernieuwbaar, hoge temperatuur, bij consument, per kWh (D)			1,377		kWh	Ongedefinieerd			module D Bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT

Aquathermie (TEO)

Outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten			Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid	Afvaltype	Allocatie	Categorie	Opmerking
0000-pro&Warmtelevering, aquathermie (TEO), lage temperatuur, bij consument, per kWh			1		kWh	Energy	niet gedefin...	100 %	_3Warmte
Regel invoegen									
Outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten			Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of ZSD	Min	Max	Opmerking
Regel invoegen									
Invoer									
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)		Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of ZSD	Min	Max	Opmerking
Regel invoegen									
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)									
0000-fab&Warmtelevering, aquathermie (TEO), lage temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh...			1,0917-1,0917/6,5 = 0,924		kWh				A1-A3 Materialisatie bron + A4 verliezen in warmtenet (Z)LT
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)			1,0917/6,5 = 0,168		kWh				A1-A3 Elektriciteitsverbruik bron incl. A4 verliezen en transport in warmtenet (Z)LT
0000-fab&Warmtenet, lage temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (A4)			1		kWh	Ongedefinieerd			A4 Materialisatie warmtenet (Z)LT
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting...)			0,009		kWh	Ongedefinieerd			A4 Elektriciteitsverbruik warmtenet (Z)LT
0000-fab&Warmtenet, lage temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (D)			1		kWh	Ongedefinieerd			module D Warmtenet (Z)LT
0000-pro&Warmtelevering, aquathermie (TEO), lage temperatuur, bij consument, per kWh (D)			1,0917-1,0917/6,5 = 0,924		kWh				module D Bron + A4 verliezen in warmtenet (Z)LT

Bio-energie

Outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten		Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid	Afvaltype	Allocatie	Categorie	Opmerking
0000-pro&Warmtelevering, bio-energie (58% biogas, 42% vaste biomassa), hoge temperatuur, bij c...		1	kWh	Energy	niet gedefin...	100 %	_3Warmte	
Regel invoegen								
Outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten		Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking
Regel invoegen								
Invoer								
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)	Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking
Regel invoegen								
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)		Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking
0000-pro&Warmtekrachtkoppeling, biogas, gasmotor (o.b.v. Heat, central or small-scale, other than natural gas (NL)) heat ...		0,582*1,377 = 0,801	kWh					A1-A3 Warmteproductie bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT
0000-pro&Warmtekrachtkoppeling, biomassa, houtsnippers, 6667 kW (o.b.v. Heat, district or industrial, other than natural g...		0,418*1,377 = 0,576	kWh					A1-A3 Warmteproductie bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in...		0*1,377 = 0	kWh					A1-A3 Elektriciteitsverbruik bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT
0000-fab&Warmtenet, hoge temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (A4)		1	kWh	Ongedefinieerd				A4 Materialisatie warmtenet HT/MT
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in...		0,018	kWh	Ongedefinieerd				A4 Elektriciteitsverbruik warmtenet HT/MT
0000-fab&Warmtenet, hoge temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (D)		1	kWh	Ongedefinieerd				module D Warmtenet HT/MT
0000-pro&Warmtelevering, bio-energie (58% biogas, 42% vaste biomassa), hoge temperatuur, bij consument, per kWh (D)		1,377	kWh	Ongedefinieerd				module D Bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT

STEG met WKK

Outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten		Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid	Afvaltype	Allocatie	Categorie	Opmerking	
0000-pro&Warmtelevering, elektriciteitscentrale (gas), STEG met WKK, hoge temperatuur, bij consument, per kWh		1	kWh	Energy	niet gedefin...	100 %	_3Warmte		
Regel invoegen									
Outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten		Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking	
Regel invoegen									
Invoer									
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)		Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking
Regel invoegen									
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)			Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking
0000-pro&Warmtekrachtkoppeling, aardgas, 400 MW (o.b.v. Heat, district or industrial, natural gas (NL)) heat and power c...			1,377	kWh	Ongedefinieerd				A1-A3 Warmteproductie bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in...			0*1,377 = 0	kWh					A1-A3 Elektriciteitsverbruik bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT
0000-fab&Warmtenet, hoge temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (A4)			1	kWh	Ongedefinieerd				A4 Materialisatie warmtenet HT/MT
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in...			0,018	kWh	Ongedefinieerd				A4 Elektriciteitsverbruik warmtenet HT/MT
0000-fab&Warmtenet, hoge temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (D)			1	kWh	Ongedefinieerd				module D Warmtenet HT/MT
0000-pro&Warmtelevering, elektriciteitscentrale (gas), STEG met WKK, hoge temperatuur, bij consument, per kWh (D)			1,377	kWh	Ongedefinieerd				module D Bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT

Piekketel, HT

Outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten						Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid	Afvaltype	Allocatie	Categorie	Opmer
0000-pro&Warmtelevering, piekkel (aardgas), hoge temperatuur, bij consument, per kWh (o.b.v. Heat, central or small-scale, natural gas (Europe without Switzerland))...						1	kWh	Energy	niet gedefin...	100 %	_3Warmte	
Regel invoegen												
Outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten		Hoeveelheic	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking				
Regel invoegen												
Invoer												
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)		Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking			
Regel invoegen												
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)			Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking			
0000-pro&Warmteproductie, aardgas, laag-NOx, niet-modulerend <100 kW (o.b.v. Heat, central or small-scale, natural gas...			1,377	kWh	Ongedefinieerd				A1-A3 Warmteproductie bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT			
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in...			0*1,377 = 0	kWh					A1-A3 Elektriciteitsverbruik bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT			
0000-fab&Warmtenet, hoge temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (A4)			1	kWh	Ongedefinieerd				A4 Materialisatie warmtenet HT/MT			
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in...			0,018	kWh	Ongedefinieerd				A4 Elektriciteitsverbruik warmtenet HT/MT			
0000-fab&Warmtenet, hoge temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (D)			1	kWh	Ongedefinieerd				module D Warmtenet HT/MT			
0000-pro&Warmtelevering, piekkel (aardgas), hoge/lage temperatuur, bij consument, per kWh (D)			1,377	kWh	Ongedefinieerd				module D Bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT			

Piekketel, LT

Outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten							Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid	Afvaltype	Allocatie	Categorie	Opmerking
0000-pro&Warmtelevering, piekketel (aardgas), lage temperatuur, bij consument, per kWh (o.b.v. Heat, central or small-scale, natural gas (Europe without Switzerland)) ...							1	kWh	Energy	niet gedefin...	100 %	_3Warmte	
Regel invoegen													
Outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten		Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking					
Regel invoegen													
Invoer													
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)		Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking				
Regel invoegen													
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)						Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking	
0000-pro&Warmteproductie, aardgas, laag-NOx, niet-modulerend <100 kW (o.b.v. Heat, central or small-scale, natural gas...						1,0917	kWh	Ongedefinieerd					A1-A3 Warmteproductie bron + A4 verliezen in warmtenet (Z)LT
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in...						0*1,0917 = 0	kWh						A1-A3 Elektriciteitsverbruik bron + A4 verliezen in warmtenet (Z)LT
0000-fab&Warmtenet, lage temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (A4)						1	kWh	Ongedefinieerd					A4 Materialisatie warmtenet (Z)LT
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in...						0,009	kWh	Ongedefinieerd					A4 Elektriciteitsverbruik warmtenet (Z)LT
0000-fab&Warmtenet, lage temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (D)						1	kWh	Ongedefinieerd					module D Warmtenet (Z)LT
0000-pro&Warmtelevering, piekketel (aardgas), hoge/lage temperatuur, bij consument, per kWh (D)						1,0917	kWh	Ongedefinieerd					module D Bron + A4 verliezen in warmtenet (Z)LT

Restwarmte, HT

Outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten							Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid	Afvaltype	Allocatie	Categorie	Opmerking
0000-pro&Warmtelevering, restwarmte, hoge temperatuur, bij consument, per kWh							1	kWh	Energy	niet gedefin...	100 %	„Warmte	
Regel invoegen													
Outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten							Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking
Regel invoegen													
Invoer													
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)		Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking				
Regel invoegen													
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)			Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking				
0000-fab&Warmtelevering, restwarmte, hoge/lage temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (A1-A3)			1,377-1.37...	kWh					A1-A3 Materialisatie bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT				
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)			1,377/4,5 = 0,306	kWh					A1-A3 Elektriciteitsverbruik boosterwarmtepomp + A4 verliezen in warmtenet HT/MT				
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), ...			1,071/20 = ...	kWh					A1-A3 Elektriciteitsverbruik bron				
0000-fab&Warmtenet, hoge temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (A4)			1	kWh	Ongedefinieerd				A4 Materialisatie warmtenet HT/MT				
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), ...			0,018	kWh	Ongedefinieerd				A4 Elektriciteitsverbruik warmtenet HT/MT				
0000-fab&Warmtenet, hoge temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (D)			1	kWh	Ongedefinieerd				module D Warmtenet HT/MT				
0000-pro&Warmtelevering, restwarmte, hoge/lage temperatuur, bij consument, per kWh (D)			1,377-1.37...	kWh					module D Bron + A4 verliezen in warmtenet HT/MT				

Restwarmte, LT

Outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten							Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid	Afvaltype	Allocatie	Categorie	Opmerking
0000-pro&Warmtelevering, restwarmte, lage temperatuur, bij consument, per kWh							1	kWh	Energy	niet gedefin...	100 %	„Warmte	
Regel invoegen													
Outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten							Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking
Regel invoegen													
Invoer													
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)		Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking				
Regel invoegen													
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)			Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking				
0000-fab&Warmtelevering, restwarmte, hoge/lage temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (A1-A3)			1,0917-1.0...	kWh					A1-A3 Materialisatie bron + A4 verliezen in warmtenet (Z)LT				
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)			1,0917/6,5 = 0,168	kWh					A1-A3 Elektriciteitsverbruik boosterwarmtepomp + A4 verliezen in warmtenet (Z)LT				
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), ...			0,924/20 = ...	kWh					A1-A3 Elektriciteitsverbruik bronpomp				
0000-fab&Warmtenet, lage temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (A4)			1	kWh	Ongedefinieerd				A4 Materialisatie warmtenet (Z)LT				
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), ...			0,009	kWh	Ongedefinieerd				A4 Elektriciteitsverbruik warmtenet (Z)LT				
0000-fab&Warmtenet, lage temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (D)			1	kWh	Ongedefinieerd				module D Warmtenet (Z)LT				
0000-pro&Warmtelevering, restwarmte, hoge/lage temperatuur, bij consument, per kWh (D)			1,0917-1.0...	kWh					module D Bron + A4 verliezen in warmtenet (Z)LT				

WKO

Outputs naar de technosfeer. Producten en bijproducten							Hoeveelheid	Eenheid	Grootheid	Afvaltype	Allocatie	Categorie	Opmerking
0000-pro&Warmtelevering, warmte-koude-opslag (WKO), gesloten/open systeem, lage temperatuur, bij consument, per kWh							1	kWh	Energy	niet gedefin...	100 %	„Warmte	Op basis van 50% open WKO en 50% gesloten WKO
Regel invoegen													
Outputs naar de technosfeer. Uitgespaarde producten							Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking
Regel invoegen													
Invoer													
Bekende inputs uit de natuur (hulpbronnen)		Subcompartment	Hoeveelheid	Eenheid	Verdeling	SD2 of 2SD	Min	Max	Opmerking				
Regel invoegen													
Bekende inputs uit de technosfeer (materialen, brandstoffen)			Hoeveelheid	Eenheid	Ver	SD	Min	Max	Opmerking				
0000-fab&Warmtelevering, warmte-koude-opslag (WKO), gesloten systeem (0-500 m diep), lage temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (A1-A3)			(1,0917-1,0917/6,5)/2 = 0,462	kWh					A1-A3 Materialisatie bron + A4 verliezen in warmtenet (Z)LT (gesloten WKO)				
0000-fab&Warmtelevering, warmte-koude-opslag (WKO), open systeem (0-500 m diep), lage temperatuur, bij consument, materialisatie infra...			(1,0917-1,0917/6,5)/2 = 0,462	kWh					A1-A3 Materialisatie bron + A4 verliezen in warmtenet (Z)LT (open WKO)				
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)			1,0917/6,5 = 0,168	kWh					A1-A3 Elektriciteitsverbruik bron + A4 verliezen in warmtenet (Z)LT				
0000-fab&Warmtenet, lage temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (A4)			1	kWh	O...				A4 Materialisatie warmtenet (Z)LT				
0569-pro&Elektriciteit, Nederlandse mix, bij consument, per kWh (48,4% grijs, 51,6% hernieuwbaar) (o.b.v. zie toelichting in proces), (12-2030)			0,009	kWh	O...				A4 Elektriciteitsverbruik warmtenet (Z)LT				
0000-fab&Warmtenet, lage temperatuur, bij consument, materialisatie infrastructuur, per kWh (D)			1	kWh	O...				module D Warmtenet (Z)LT				
0000-pro&Warmtelevering, warmte-koude-opslag (WKO), gesloten systeem (0-500 m diep), lage temperatuur, bij consument, per kWh (D)			(1,0917-1,0917/6,5)/2 = 0,462	kWh					module D Bron + A4 verliezen in warmtenet (Z)LT (gesloten WKO)				
0000-pro&Warmtelevering, warmte-koude-opslag (WKO), open systeem (0-500 m diep), lage temperatuur, bij consument, per kWh (D)			(1,0917-1,0917/6,5)/2 = 0,462	kWh					module D Bron + A4 verliezen in warmtenet (Z)LT (open WKO)				