



KWR 2025.084 | September 2025

## **Verkenning milieuprofiel van open bodemenergiesystemen met levenscyclusanalyse**

**Op weg naar bodemenergie circulair in  
2050**

Eindrapport – 30 september 2025



## Samenwerkingspartners



# Colofon

## Verkenning milieuprofiel van open bodemenergiesystemen met levenscyclusanalyse

Op weg naar bodemenergie circulair in 2050

**KWR 2025.084 | September 2025**

### Opdrachtnummer

404837

### Projectmanager

Martin van der Schans

### Samenwerkingspartners

KWR, TNO, Provincie Noord-Holland, Gemeente Amsterdam,  
VHGM, IF Technology, Kiwa, Haitjema, TKI Deltatechnologie

### Auteurs

Stijn Beernink, Tavishi Guleria, Josje Brouwers, Tessa van den Brand, Marette Zwamborn

### Kwaliteitsborger

Roberta Hofman-Caris

### Verzonden naar

Dit rapport is openbaar

### Met dank aan de volgende partijen voor hun medewerking en het aanleveren van gegevens

Nathan, Haitjema, De Ruiter, BodemenergieNL, Vereniging Warmtepompen

Deze activiteit is mede gefinancierd met PPS-financiering uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en de resultaten zijn openbaar.

Werkwijzen, rekenmodellen, technieken, ontwerpen van proefinstallaties, prototypen en door KWR gedane voorstellen en ideeën alsmede instrumenten, waaronder software, die in het onderzoeksresultaat zijn opgenomen, zijn en blijven het eigendom van KWR. Ook alle rechten die voortvloeien uit intellectueel en industrieel eigendom, alsmede de auteursrechten, blijven bij KWR berusten en derhalve eigendom van KWR.

**Keywords:** Bodemenergie; Milieu-profiel; Circulariteit; LCA

Jaar van publicatie  
2025

Meer informatie  
Marette Zwamborn  
T 030 60 69 677  
E [marette.zwamborn@kwrwater.nl](mailto:marette.zwamborn@kwrwater.nl)

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)

**KWR**

September 2025 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

# Samenvatting

In het toekomstige fossielvrije energiesysteem vervult bodemenergie een belangrijke rol: het is een energetisch en economisch aantrekkelijke techniek voor seizoensopslag van warmte en koude in de gebouwde omgeving. Vanwege emissiereductie zorgen bodemenergiesystemen voor een lagere klimaatimpact ten opzichte van het huidige, fossiele energiesysteem. Nederland heeft de ambitie vastgelegd om de gehele gebouwde omgeving voor 2050 circulair te maken, ook voor bodemenergiesystemen geldt deze ambitie. Het doel daarbij is om materialen en grondstoffen zo lang mogelijk in de kringloop te houden en afval te minimaliseren. Het gaat om het hergebruiken van materialen, het vermijden van uitputting van natuurlijke hulpbronnen, het verminderen van vervuiling en het beschermen van ecosystemen.

Deze studie voert een verkenning uit naar het milieuprofiel van open bodemenergiesystemen (OBES). Door inventarisatie en analyse van het materiaal- en grondstoffengebruik tijdens de levenscyclus van een bodemenergiesysteem, is inzichtelijk gemaakt welke onderdelen het meest bepalend zijn voor het milieuprofiel. Dit kan worden gezien als een nulmeting bij het streven naar een hogere mate van circulariteit van bodemenergiesystemen.

In samenwerking met brancheverenigingen en verschillende boorbedrijven zijn gegevens geïnventariseerd van het materiaal- en grondstoffengebruik voor 4 categorieën OBES (klein – groot) in Nederland. Op basis van deze gegevens is bepaald welk type materiaal er wordt gebruikt voor de verschillende onderdelen van OBES (bijv. beton voor de putkelder, diesel voor aggregaat/boorwerkzaamheden en PVC voor de putbuis), en in welke hoeveelheden deze materialen gemiddeld genomen worden gebruikt. Door middel van een levenscyclusanalyse (LCA) is vervolgens het milieuprofiel van OBES bepaald.

Het grootste aandeel in het milieuprofiel van OBES komt van het materiaal PVC en RVS, gevolgd door HDPE. PVC wordt gebruikt voor de putbuis en het putfilter van de bronnen, RVS in de leidingen in de bronnen en de technische ruimte, en HDPE voor het verbindend leidingwerk aan maaiveld. De resultaten van deze LCA-studie komen overeen met eerdere studies. Wanneer gekeken wordt naar het milieuprofiel per vierkante meter gebouwoppervlak per jaar, dan blijkt dat met toenemende grootte van het systeem, het materiaal- en grondstoffengebruik relatief gezien kleiner wordt. Grotere systemen hebben dus relatief minder impact dan kleinere systemen. Het relatieve aandeel RVS in het milieuprofiel neemt af voor grotere systemen, PVC en HDPE nemen ten opzichte van RVS meer toe. De hoeveelheid PVC dat wordt gebruikt, is in sterke mate afhankelijk van de diepte van de bronnen.

De milieu-impact van het elektriciteitsgebruik tijdens de gebruiksfase van een bodemenergiesysteem is aanzienlijk groter dan die van het materiaal- en grondstoffengebruik van het ondergrondse deel. Een aantal versimpelde berekeningen laten zien dat de impact van het energieverbruik (uitgegaan van de huidige gemiddelde CO<sub>2</sub>-impact per kWh van elektriciteit in Nederland) over de levensduur van het systeem aanzienlijk groter (factor ~20) is dan die van de materialen en grondstoffen, wat in lijn is met eerdere studies. Echter, als op de lange termijn de stroommix groener blijft worden, wordt het relatieve aandeel van het materiaal- en grondstoffengebruik in het milieuprofiel groter. De verkregen dataset en de uitgevoerde LCA-analyse zijn geschikt om door een erkende LCA-organisatie in de toekomst te worden gebruikt voor de Nationale Milieu-database, waarbij de resultaten naar MKI-waarden kunnen worden omgezet.

Tot slot wordt opgemerkt, dat voor een goede vergelijking van het milieuprofiel van open bodemenergiesystemen met andere technieken voor verwarming en koeling, een bredere scope nodig is.

Daarvoor is het nodig om het materiaal- en grondstoffengebruik van de ondergrondse én bovengrondse installatie te combineren met een uitgebreide energetische analyse. Dat is geen onderdeel van de huidige studie.

# Inhoud

|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Samenwerkingspartners</b>                                                                   | <b>2</b>  |
| <b>Colofon</b>                                                                                 | <b>3</b>  |
| <b>Samenvatting</b>                                                                            | <b>4</b>  |
| <b>Inhoud</b>                                                                                  | <b>6</b>  |
| <b>Lijst met afkortingen</b>                                                                   | <b>7</b>  |
| <br>                                                                                           |           |
| <b>1     Introductie</b>                                                                       | <b>8</b>  |
| 1.1   Aanleiding                                                                               | 8         |
| 1.2   Doel en aanpak                                                                           | 8         |
| 1.3   Leeswijzer                                                                               | 9         |
| <br>                                                                                           |           |
| <b>2     Literatuurstudie</b>                                                                  | <b>10</b> |
| 2.1   Drie LCA-studies open bodemenergie                                                       | 10        |
| 2.2   Resultaten van de drie LCA-studies                                                       | 10        |
| 2.3   Verkennde analyse van het milieuprofiel van het<br>ondergronds deel van de drie casussen | 13        |
| <br>                                                                                           |           |
| <b>3     LCA aanpak en methode</b>                                                             | <b>14</b> |
| 3.1   Keuze LCA voor bepaling milieuprofiel                                                    | 14        |
| 3.2   Aansluiting bij de MPG-methode                                                           | 14        |
| 3.3   LCA-studie in vier standaard stappen                                                     | 15        |
| 3.4   Doel, scope, functionele eenheid en categorieën                                          | 16        |
| 3.5   Inventarisatie en uitvraag gegevens                                                      | 17        |
| 3.6   Kwantificeren van de milieu-impact                                                       | 18        |
| 3.7   Opzet gevoeligheidsanalyse                                                               | 18        |
| <br>                                                                                           |           |
| <b>4     LCA resultaten: milieu-impact van materiaal- en<br/>        grondstoffengebruik</b>   | <b>20</b> |
| 4.1   Beschrijving dataset: gegevens materiaal- en<br>grondstoffengebruik                      | 20        |
| 4.2   Resultaten milieu-impact bepaling                                                        | 24        |
| 4.3   Gevoeligheidsanalyse                                                                     | 27        |
| <br>                                                                                           |           |
| <b>5     Milieu-impact energieverbruik tijdens<br/>        gebruiksfase</b>                    | <b>29</b> |
| 5.1   Berekeningsmethode                                                                       | 29        |
| 5.2   Resultaten                                                                               | 30        |
| 5.3   Perspectief                                                                              | 31        |
| <br>                                                                                           |           |
| <b>6     Discussie</b>                                                                         | <b>32</b> |
| 6.1   Circulaire economie versus milieu-impact                                                 | 32        |
| 6.2   Hergebruik bij beëindiging van het systeem                                               | 32        |
| 6.3   Toepassing van LCA-resultaten                                                            | 32        |

|          |                                                                          |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>7</b> | <b>Conclusies en aanbevelingen</b>                                       | <b>33</b> |
| 7.1      | Conclusies                                                               | 33        |
| 7.2      | Aanbevelingen voor verbetering van het milieuprofiel van bodemenergie    | 34        |
| 7.3      | Aanbevelingen om LCA-methoden te verbeteren                              | 35        |
| 7.4      | Aanbevelingen voor bodemenergie in MPG                                   | 35        |
| <b>8</b> | <b>Referenties</b>                                                       | <b>37</b> |
|          | <b>Bijlage I. Gegevensinventarisatie uit LCA-literatuur</b>              | <b>38</b> |
|          | <b>Bijlage II. Bodemenergiesystemen in de MPG</b>                        | <b>41</b> |
|          | <b>Bijlage III. Aanpak inventarisatie gegevens bij boorbedrijven</b>     | <b>44</b> |
|          | <b>Bijlage IV. Resultaten inventarisatie OBES gegevens boorbedrijven</b> | <b>47</b> |
|          | <b>Bijlage V. Aanvullende resultaten LCA</b>                             | <b>63</b> |

## Lijst met afkortingen

|      |                                |
|------|--------------------------------|
| BENG | Bijna-energieneutrale gebouwen |
| HDPE | High-Density Polyethylene      |
| HTO  | Hoge temperatuur opslag        |
| LCA  | Levenscyclusanalyse            |
| LCI  | Levenscyclusinventarisatie     |
| MPG  | MileuPrestatie Gebouwen        |
| MTO  | Midden temperatuur opslag      |
| OBES | Open bodemenergie systeem      |
| PVC  | Polyvinyl chloride             |
| RVS  | Roestvast staal                |

# 1 Introductie

## 1.1 Aanleiding

Bodemenergie is een belangrijke hernieuwbare energiebron in Nederland. Sinds de jaren '90 wordt bodemenergie veelvuldig toegepast en het aantal systemen blijft groeien. In het toekomstige fossielvrije energiesysteem vervult bodemenergie een belangrijke rol: de techniek is een economisch en energetisch aantrekkelijke techniek voor seizoensopslag van warmte en koude in de gebouwde omgeving. Vanwege emissiereductie zorgen bodemenergiesystemen voor een lagere klimaatimpact ten opzichte van het huidige, fossiele energiesysteem.

In 2018 is in de Transitieagenda Circulaire Bouweconomie (CBE) de ambitie vastgelegd om de gehele gebouwde omgeving voor 2050 circulair te maken, inclusief woning- en utiliteitsbouw. Ook voor bodemenergiesystemen geldt deze ambitie. Circulair bouwen omvat voor de bodemenergiesector een benadering waarbij de infrastructuur wordt ontworpen, gebouwd en gebruikt met het doel om materialen en grondstoffen zo lang mogelijk in de kringloop te houden en afval te minimaliseren. Het gaat om het hergebruiken van materialen, het vermijden van uitputting van natuurlijke hulpbronnen, het verminderen van vervuiling en het beschermen van ecosystemen.

Vanuit het perspectief van circulair bouwen én de drive om nog beter om te gaan met de planeet, is vanuit de branche de vraag opgekomen waar kansen liggen om circulaire strategieën toe te passen voor het materiaalgebruik van bodemenergiesystemen, zoals “replace” (alternatieve materialen), “reuse” (verwijderen en hergebruiken) of “rethink” (bevorderen langere levensduur, andere systeemconcepten).

## 1.2 Doel en aanpak

### *Doel*

Het TKI-project ‘Bodemenergie Circulair 2050’ richt zich op het vergroten van de circulariteit van bodemenergiesystemen. In het project wordt onderzoek gedaan naar circulaire strategieën voor het materiaalgebruik van bodemenergiesystemen. De bevindingen in dit TKI-project zijn gericht op het ondergrondse deel van bodemenergiesystemen.

### *Eerste stap: verkenning milieuprofiel met LCA (dit rapport)*

De eerste activiteit in het TKI-project is het uitvoeren van een verkenning, met als doel het verkrijgen van inzicht in het milieuprofiel van het ondergronds deel van bodemenergiesystemen: welke onderdelen van het systeem zijn het meest bepalend in het milieuprofiel?

Bij het streven naar een hogere mate van circulariteit kan de aandacht dan in de toekomst op deze onderdelen worden gericht. In dit rapport staat de verkenning van het milieuprofiel beschreven, waarbij gebruik is gemaakt van de LCA-methodiek (levenscyclusanalyse).

***Overige project onderdelen: verkenning alternatieven voor materiaalgebruik***

Naast de verkenning van het milieuprofiel, werkt het TKI consortium ook aan de verkenning van alternatieven voor materiaalgebruik bij bodemenergiesystemen. Daarbij richt het consortium zich met name op HDPE en PVC, aangezien toepassing van circulaire strategieën voor deze materialen naar verwachting het meeste winst oplevert. De studie beschreven in dit rapport geeft hier meer inzicht in. Op basis van de nulmeting en de verkenning van alternatieven, wordt in een vervolgfase van het project een selectie van mogelijke alternatieven verder uitgewerkt.

**1.3 Leeswijzer**

In dit rapport zijn de resultaten beschreven van de verkenning naar het milieuprofiel van open bodemenergiesystemen:

***Literatuurstudie***

- In hoofdstuk 2 is een overzicht van drie eerdere LCA-studies voor open bodemenergiesystemen uit de literatuur opgenomen. Op basis van deze literatuurstudie is een begin gemaakt met een inventarisatielijst die is gebruikt om gegevens van OBES in Nederland te verzamelen.

***LCA-studie: milieuprofiel van materiaal- en grondstoffen gebruik***

- Hoofdstuk 3 beschrijft de aanpak en methode van de LCA-studie naar het milieuprofiel van materialen en grondstoffen van het ondergronds deel van open bodemenergiesystemen. Beschreven zijn de keuze voor LCA als methode voor bepalen van het milieuprofiel, de gevolgde LCA-stappen, hoe is aangesloten bij de Milieu Prestatie Gebouwen (MPG), en welke keuzes zijn gemaakt voor de scope van de LCA.
- Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten van de gegevensinventarisatie en de uitkomsten van de bepaling van het milieuprofiel voor de vier categorieën open bodemenergiesystemen met oplopende groottes, waarvoor de LCA-studie is uitgevoerd.

***Milieu-impact van het energieverbruik in de gebruiksfase van het systeem***

- In hoofdstuk 5 is een beknopte beschouwing opgenomen van het energieverbruik in de gebruiksfase van het open bodemenergiesysteem, en hoe dit zich verhoudt met het milieuprofiel van materialen en grondstoffen die in de LCA-studie zijn verkend.

***Discussie, conclusies en aanbevelingen, referenties***

- In de hoofdstukken 6 t/m 8 zijn discussie, conclusies en aanbevelingen en gebruikte referenties opgenomen.

## 2 Literatuurstudie

### 2.1 Drie LCA-studies open bodemenergie

Uit de literatuur zijn drie relevante studies gekozen die een LCA hebben doorgerekend voor open bodemenergiesystemen (OBES) (Tabel 2-1). Het gaat hier om een studie gedaan voor een relatief klein OBES systeem van 30,000 m<sup>3</sup>/jaar in Bordeaux, Frankrijk (Godinaud et al., 2024). De tweede studie komt uit Duitsland en analyseert een groot OBES systeem met 3 warme en 3 koude bronnen dat energie levert aan een cohort van verschillende gebouwen in Bonn (Stemmle et al., 2021). De derde studie is een MSc thesis over een relatief klein OBES systeem bestaande uit een doublet in Delft, Nederland, uitgevoerd in 2014 (Moulopoulos, 2014).

#### *Vergelijking scope en opzet*

De scope en opzet van de drie LCA-studies uit de literatuur is opgenomen in Tabel 2-1. De drie studies hebben een vergelijkbare scope: de milieu-impact is berekend van de aanleg, gebruik en onderhoud van het gehele bodemenergiesysteem inclusief de warmtepomp. In alle drie de studies is het materiaal- en grondstoffengebruik beschouwd, én het energieverbruik (elektriciteit) voor de bronpompen en de warmtepomp tijdens de gebruiksfase. Voor alle drie de studies is de impact van het elektriciteitsgebruik berekend met de op die locatie relevante stroommix, in alle gevallen een grijze stroommix (deels opgewekt met fossiele brandstoffen). Echter, door de afwijkende LCA methode en weging, en een andere aangenomen levensduur zijn de resultaten niet één op één te vergelijken.

De inventarisatie van materiaal- en grondstoffengebruik bij aanleg en onderhoud zijn op basis van de beschrijvingen uit de studies gehaald, en opgenomen in Bijlage I. Omdat in het kader van deze studie enkel het ondergronds deel wordt beschouwd, zijn in bijlage I enkel de gegevens van het ondergronds deel opgenomen.

### 2.2 Resultaten van de drie LCA-studies

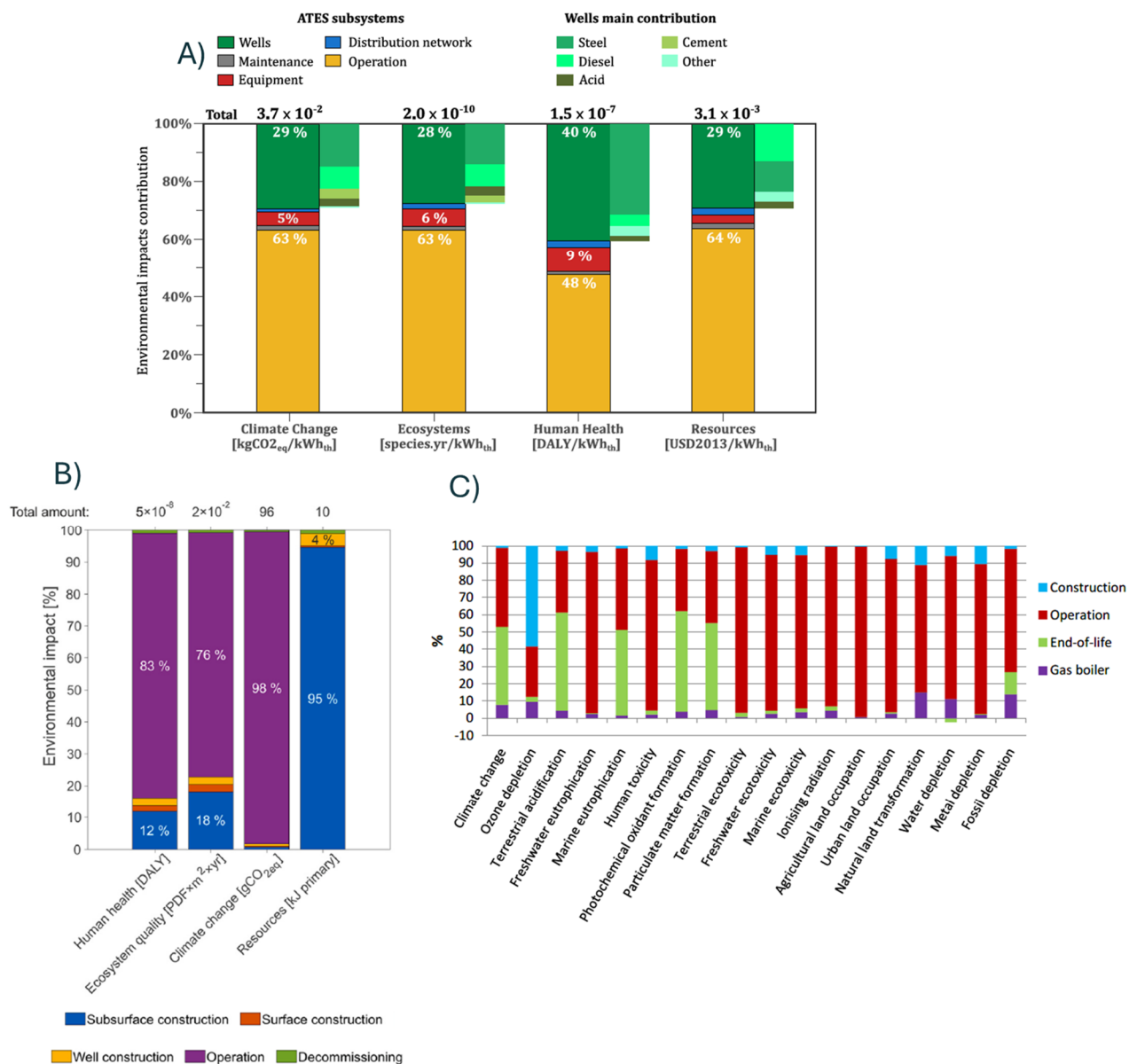
Het aandeel van de verschillende onderdelen van een OBES op de totale milieu-impact is per studie op een vergelijkbare manier beschreven (Figuur 2-1). In alle studies heeft 'operation' oftewel het stroomgebruik van het systeem (grootste aandeel door warmteproductie met de warmtepomp) de grootste milieu-impact (>60% van totale milieu-impact) door het gebruik gedurende de doorgerekende levensduur (variërend van 15 tot 35 jaar) van het systeem.

Voor de studies in Duitsland en Frankrijk zijn de putten gemaakt van Chroom-staal RVS, wat een sterke milieu-impact met zich meebrengt bij de endpoint indicatoren Climate Change, Ecosystems en Human Health (Figuur 2-1A-B). Daarnaast is diesel gebruikt voor de graafwerkzaamheden en transport, dit heeft een sterke impact op de midpoint 'Resources'. Voor het systeem in Nederland (Moulopoulos, 2014) bestaan de putten uit PVC. In deze studie hebben PVC (putten) en HDPE (bovengrondse leidingwerk) na het elektriciteitsverbruik een relatief grote impact (Figuur 2-1C). De studies laten zien dat het materiaal en grondstoffen gebruik voor de systemen een duidelijke milieu-impact hebben, maar in alle gevallen is deze milieu-impact kleiner dan de milieu-impact van het energiegebruik (grijze stroom) van de warmtepomp en bronpompen gedurende de doorgerekende levensduur.

Tabel 2-1 Overzicht van de drie OBES LCA studies die zijn geanalyseerd.

|                          | Godinaud et al. (2024)                                                                                                                                                                                            | Stemmle et al. (2021)                                                                                                                                                                        | Moulopoulos (2014)                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Type                     | Peer-reviewed                                                                                                                                                                                                     | Peer-reviewed                                                                                                                                                                                | MSc thesis                                                                                                                                                                                                                            |
| Korte omschrijving       | Klein systeem, 1 doublet, RVS putten, Bordeaux (Frankrijk).                                                                                                                                                       | Groot systeem, 3 doubletten, RVS putten, Bonn (Duitsland)                                                                                                                                    | Klein systeem, 1 doublet, PVC bronnen, Delft (Nederland)                                                                                                                                                                              |
| LCA scope                | Aanleg, gebruik en onderhoud gehele bodemenergiesysteem voor 30 jaar incl. energie in gebruiksfase en onderhoud                                                                                                   | Aanleg, gebruik en onderhoud gehele bodemenergiesysteem voor 35 jaar incl. energie in gebruiksfase, onderhoud en abandonneren                                                                | Aanleg, gebruik en onderhoud gehele bodemenergiesysteem voor 15 jaar incl. energie in gebruiksfase, onderhoud en abandonneren                                                                                                         |
| Methode                  | ReCiPe. Geanalyseerd voor 4 endpoint indicatoren (Climate Change, Ecosystems, Human Health en Resources) per kWh <sub>th</sub> .                                                                                  | IMPACT 2002+V2.10. Geanalyseerd voor 4 endpoint indicatoren (Climate Change, Human Health, Ecosystem quality, resources) per kWh <sub>th</sub> .                                             | ReCiPe. Uitgedrukt in totale impact ('ecopoints') voor 15 jaar.                                                                                                                                                                       |
| Stroommix                | "Market for electricity, low voltage — electricity, low voltage — Cutoff, U – FR"                                                                                                                                 | "The German electricity mix provided in ecoinvent 3.5 refers to the year 2014"                                                                                                               | "Market for Electricity, low voltage   Alloc Def, S"                                                                                                                                                                                  |
| Belangrijkste resultaten | Grootste impact voor alle endpoint indicatoren door impact van verbruikte elektriciteit (48 – 64% totale impact)<br>Daarna grootste impact door Chroom-RVS putten en diesel voor aanleg (28 – 40% totale impact). | Bij 3 endpoint indicatoren is het elektriciteitsverbruik tijdens gebruik 76 – 98% van totale impact. Bij resources de aanleg van het systeem verantwoordelijk voor 95% van de totale impact. | Grootste impact ook hier elektriciteitsverbruik tijdens gebruik. Daarnaast relatief grote impact door 'end-of-life' spui water op riool.<br>Aanleg van systeem: grootste impact door gebruik PVC van de putten en HDPE van leidingen. |

Geothermics 120



Figuur 2-1 Totale milieu-impact van de drie studies, bij alle studies heeft 'operation' (het stroomgebruik) het grootste aandeel.

A) De studie van Godinaud et al. (2024): voor de vier midpoints Climate change, ecosystems, human health en resources is het percentage van bijdrage van de vier verschillende onderdelen aan de totale milieu-impact weergegeven.

B) De studie van Stemmler et al. (2021) laat eenzelfde figuur zien voor dezelfde midpoints, maar dan opgedeeld in vijf onderdelen.

C) De studie van Mouloupoulos (2014): het percentage van de 4 onderdelen 'construction', 'operation', 'end-of-life' en 'gas boiler' (gasverbruik in ketel) op de milieu-impact voor 18 verschillende milieu impactcategorieën.



*Figuur 2-2 Totale milieu-impact, uitgedrukt in 'single points' voor het ondergronds deel van de bodemenergiesystemen, in een LCA-studie die is gebaseerd op basis van de gegevens in drie verschillende studies..\* Diesel is de diesel die gebruikt wordt voor de werkzaamheden op locatie voor bijv. boren; diesel gebruik voor transport wordt impliciet meegenomen in het onderdeel transport.*

## 3 LCA aanpak en methode

### 3.1 Keuze LCA voor bepaling milieuprofiel

Voor het bepalen van milieu-impact zijn diverse methodes beschikbaar zoals de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA), Milieueffectrapportage (MER) en de Levenscyclusanalyse (LCA). MKBA's zijn zeer waardevol om de maatschappelijke effecten (zowel kosten als baten) van een project te kwantificeren om een beslissing te ondersteunen. Het gaat dus om de kosten en baten van een project op een bepaalde locatie en de directe omgeving. Bij een MER analyse kijkt men naar de mogelijke negatieve effecten die bepaalde (bouw)plannen met zich meebrengen en wordt bepaald hoe deze kunnen worden gemitigeerd. Deze methodes zijn beiden dus sterk gelinkt aan een project op een specifieke locatie of plek en haar omgeving. LCA (*Levenscyclusanalyse*) is een wetenschappelijk onderbouwde en gestandaardiseerde methodiek en hulpmiddel om de milieu-impact van materialen, producten of processen gedurende de gehele levensloop (productie, transport, gebruiksfase en eindverwerking) te kwantificeren, onafhankelijk van de specifieke locatie of haar omgeving. De milieu-impact wordt dus uitgedrukt in impact op het milieu in algemene zin, in plaats van een specifieke locatie. Dit maakt het mogelijk om de impact van verschillende producten of systemen op een gestandaardiseerde manier met elkaar te kunnen vergelijken. Een LCA-analyse is dus een geschikte methode om de generieke milieu-impact van bodemenergiesystemen te bepalen, en mogelijk te vergelijken met andere energiesystemen. De uitkomst van een LCA-analyse wordt het milieuprofiel genoemd.

Een aantal voordelen van LCA ten opzichte van andere methodes om milieu-impact te bepalen is dat a) de gehele levensloop van een product of proces in kaart wordt gebracht (i.e., *cradle-to-grave*), b) de methode gestandaardiseerd is in ISO-normen (14040/14044) en c) dat LCA het mogelijk maakt om verschillende vormen van milieu-impact mee te nemen in de analyse. Klimaatverandering is een voorbeeld van één vorm van milieu-impact, maar in een LCA-studie kunnen meerdere vormen van milieu-impact worden meegenomen en zelfs indien gewenst tegen elkaar worden afgewogen. Andere vormen van milieu-impact zijn bijvoorbeeld verzuring, eutrofiering en uitputting van (schaarse) grondstoffen.

### 3.2 Aansluiting bij de MPG-methode

De insteek van de verkenning naar circulariteit van bodemenergiesystemen is gericht op circulair materiaalgebruik. Dit sluit aan op de focus van de MPG, de MilieuPrestatie Gebouwen. In de Nationale Milieu Database (NMD) zijn milieu-verklaringen van materialen, producten en onderdelen verzameld, waarmee voor nieuwbouw de MPG kan worden vastgesteld. De milieu-verklaringen worden gebaseerd op LCA-studies.

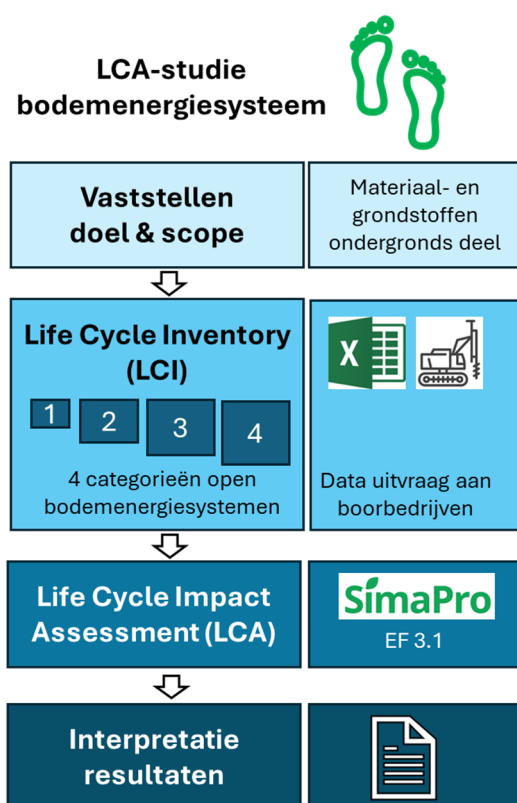
Warmtepompen staan al in de NMD, het ondergronds deel van bodemenergiesystemen nog niet. De Vereniging Warmtepompen en BodemenergieNL zijn bezig met inventarisatie, zodat bodemenergiesystemen op termijn ook in de NMD worden opgenomen. De branche richt zich in eerste instantie op de inventarisatie van gesloten systemen. In dit TKI-project is daarom eerst gefocust op de open systemen, waarbij in een vervolgtraject mogelijk uitwisseling van gegevens kan plaatsvinden. Bij dit TKI-onderzoek is bij de aanpak en scope van de LCA-studie zoveel mogelijk aangesloten bij de benaderingswijze van de NMD.

In de MPG wordt gekeken naar de milieu-impact van productie, installatie, gebruik en end-of-life van de materialen en grondstoffen van een gebouw. Het energiegebruik tijdens de gebruiksfase van het gebouw wordt niet meegenomen in de MPG. De achtergrond van deze keuze zit in de wetgeving: het energiegebruik van gebouwen wordt geregeld in de BENG-regelgeving, terwijl de circulariteit van het materiaal van het gebouw is geregeld in de MPG-regelgeving. In bijlage 2 is een verdere beschrijving opgenomen van uitgangspunten van de MPG, en bodemenergiesystemen in de MPG.

### 3.3 LCA-studie in vier standaard stappen

Een LCA-studie kent vier standaard stappen (Figuur 3-1) die zijn vastgelegd in de ISO-normen 14040 en 14044:

1. **Het vaststellen van het doel en de scope van de studie.** In deze stap wordt vastgesteld waarom de LCA-studie wordt uitgevoerd, wat er precies wordt onderzocht en welke grenzen daarbij worden gehanteerd.
2. **Het inventariseren van relevante inputs en outputs.** In deze stap worden alle inputs en outputs van het te analyseren product of proces in kaart gebracht. Inputs betreft met name grondstoffen, materialen, energie en water. Outputs betreft afvalstromen en emissies naar lucht, water en bodem. Dit wordt in LCA-terminologie de *Life Cycle Inventory* (LCI) genoemd.
3. **Het kwantificeren van de milieu-impact.** In deze stap worden de verzamelde inputs en outputs vertaald naar milieueffecten. De milieueffecten worden verzameld in zogenoemde milieu-impactcategorieën, zoals klimaatverandering, verzuring, toxiciteit en uitputting van grondstoffen. Hoe die vertaalslag wordt gemaakt en welke milieu-impactcategorieën worden meegenomen in een LCA-studie is afhankelijk van het type impact-assessment methode dat wordt gekozen. Hiervoor bestaan namelijk verschillende opties, waarbij de meest geschikte keuze afhangt van het doel en de context van de studie.
4. **Interpretatie van resultaten.** In de laatste stap worden resultaten geanalyseerd en geïnterpreteerd om conclusies te trekken, onzekerheden te benoemen en aanbevelingen te doen. Deze stap is belangrijk om LCA-resultaten betrouwbaar en bruikbaar te maken.



Figuur 3-1 Overzicht aanpak en methode van de LCA-studie voor bodemenergiesystemen in vier stappen.

### 3.4 Doel, scope, functionele eenheid en categorieën

#### *Doel en scope*

Doel van deze LCA is het verkrijgen van inzicht in de milieu-impact van het ondergronds deel van open bodemenergiesystemen: welke materialen en grondstoffen van het ondergrondse systeem zijn het meest bepalend voor de milieu-impact?

De scope van de LCA-studie zijn de productie, installatie, onderhoud, vervanging, hergebruik en end-of-life van de materialen en grondstoffen van het ondergronds deel van open bodemenergiesystemen.

De scope is beperkter dan in de eerder beschouwde LCA-studies uit de literatuurstudie van hoofdstuk 2:

- Het energiegebruik van het bodemenergiesysteem in de gebruiksfase valt buiten de scope van de LCA-studie, in aansluiting op de MPG-methode (zie paragraaf 3.3)
- De warmtepomp valt buiten de scope van de LCA-studie, enkel het ondergronds deel is beschouwd. Het ondergronds deel van het bodemenergiesysteem bestaat uit de bronnen, verbindend leidingwerk en appendages tot en met de warmtewisselaar, in aansluiting met BRL SIKB 11000.

#### *Functionele unit en categorieën*

De functionele unit in deze LCA-studie is '1 systeem', zijnde het ondergronds deel van een OBES systeem met 1 warme en 1 koude bron (1 doublet). Daarbij wordt de milieu-impact bepaald voor systemen in vier categorieën met oplopende systeemgroottes (Tabel 3-1).

In de MPG wordt de milieu-impact van een gebouw uiteindelijk uitgedrukt in m<sup>2</sup> bvo (bruto vloer oppervlak) per jaar, gemiddeld gedurende de levensduur van het gebouw. Voor de vertaalslag van '1 systeem' naar

m<sup>2</sup> bvo per jaar, is een aanname van een levensduur nodig, en een aanname voor het gebouwoppervlak waarvoor het systeem wordt ingezet:

- In aansluiting met de MPG, wordt voor de levensduur van woningen 75 jaar aangehouden, en voor utiliteitsgebouwen 50 jaar. Op basis van ervaringen in de markt met huidige OBES putten is het niet de verwachting dat dit de technische levensduur van het ondergrondse systeem is, dit lijkt zeker langer te zijn.
- Voor het gebouwoppervlak, hebben we bij elke systeemgrootte ook een voorbeeldgebouw opgenomen, ontleend aan de “Referentiegebouwen BENG” (RVO, 2017).

Met de vertaalslag naar milieu-impact per m<sup>2</sup> bvo per jaar kan de analyse gemaakt worden of de relatieve bijdrage van verschillende onderdelen op de milieu-impact verschilt tussen kleine en grote systemen. NB, de onderlinge vergelijking van systemen is géén specifiek doel is van deze LCA studie. Daarvoor moet namelijk het gebouwconcept in zijn geheel in beschouwing worden genomen.

Tabel 3-1 Beschrijving van de vier categorieën met oplopende systeemgroottes en de ontwerpuitgangspunten van de systemen.

| Categorieën en bijbehorend bronontwerp                                                                                                         | Omschrijving en toelichting                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Klein</b><br>30 m <sup>3</sup> /u recirculatie OBES,<br>filterlengte = 20m, 80m diep,<br>bronaafstand is 115m,<br>instandhouding 75 jaar | Klein OBES recirculatiesysteem van 30 m <sup>3</sup> /u, dit kan zowel een monobron of doubletsysteem zijn.<br>Dit systeem is gebaseerd op de warmte en koudevraag van 5x8 (40) grondgebonden “woningen S”, de gezamenlijke gebouwoppervlakte bedraagt 4.400 m <sup>2</sup> .<br>De aangehouden levensduur is 75 jaar. |
| <b>2. Middelgroot</b><br>50 m <sup>3</sup> /u OBES doublet<br>filterlengte=20m, 80m diep,<br>bronaafstand 150m<br>instandhouding 75 jaar       | Middelgroot OBES systeem, uitgevoerd als doublet.<br>Dit systeem is gebaseerd op de warmte en koudevraag van 3x “woongebouw M”, ofwel 3x een appartementencomplex met 33 appartementen, met een gezamenlijk oppervlakte van 9.100 m <sup>2</sup> .<br>De aangehouden levensduur is 75 jaar.                            |
| <b>3. Groot</b><br>125 m <sup>3</sup> /u doublet,<br>filterlengte=30m, 200m diep,<br>bronaafstand 200m<br>instandhouding 50 jaar               | Groot OBES doubletsysteem van 125 m <sup>3</sup> /u.<br>Gebaseerd op warmte en koudevraag van een combinatiegebouw XL, met een oppervlakte van 31.000 m <sup>2</sup> .<br>De aangehouden levensduur is 50 jaar (utiliteit).                                                                                            |
| <b>4. Zeer groot</b><br>250 m <sup>3</sup> /u doublet<br>filterlengte=40m, 200m diep,<br>bronaafstand 235m<br>instandhouding 50 jaar           | Zeer groot OBES doubletsysteem van 250 m <sup>3</sup> /u.<br>Gebaseerd op warmte en koudevraag van twee combinatiegebouwen XL, met een oppervlakte van 62.000 m <sup>2</sup> .<br>De aangehouden levensduur is 50 jaar (utiliteit).                                                                                    |

### 3.5 Inventarisatie en uitvraag gegevens

Op basis van het literatuuronderzoek (hoofdstuk 2) is in maart 2025 een inventarisatielijst opgezet met daarin de relevante onderdelen van de aanleg, instandhouding en beëindiging van een OBES. Deze lijst is besproken met het projectconsortium en op basis van de feedback is deze lijst geüpdatet. Deze inventarisatielijst is daarna een keer als test ingevuld door boorbedrijven uit het projectconsortium. Op basis van deze test zijn leemtes geïdentificeerd en is de lijst verder aangevuld. Op de ledenvergadering van BodemenergieNL op 17 april 2025 is het project gepresenteerd en is de inventarisatielijst besproken met de aanwezige boorbedrijven. De feedback van de boorbedrijven is verwerkt en daarna besproken met het

projectconsortium. De inventarisatielijst is daarna begin mei 2025 gefinaliseerd. Op 6 mei 2025 is de gegevensuitvraag verstuurd in de vorm van een Excel met begeleidende e-mail aan alle boorbedrijven die OBES ontwikkelen (zover bekend bij de branchevereniging BodemenergieNL).

In de gegevens uitvraag (Excel bestand) is de volgende onderverdeling van het materiaal en grondstoffen gebruik voor het systeem aangehouden:

1. Bron boren en inbouwen en aanvullen
2. Broninstallatie en grondwatercircuit
3. Transport t.b.v. aanleg
4. Instandhouding en beëindiging

Per onderdeel is het materiaal- en grondstoffengebruik uitgevraagd. De uitvraag is gedaan voor de vier categorieën van bodemenergiesystemen in oplopende grootte (Tabel 3-1). In Bijlage III is de uitvraag van gegevens verder beschreven en is het Excel bestand opgenomen.

### 3.6 Kwantificeren van de milieu-impact

Er bestaan verschillende 'impact assessment' methodes om de milieu-impact van de geïdentificeerde inputs en outputs (i.e., de inventarisatie van relevante onderdelen van de OBES) te kwantificeren. In deze studie is gekozen om hiervoor de Environmental Footprint (EF) methode te hanteren versie 3.1 (Bassi et al., 2023). Dit betreft een door de Europese Unie gestandaardiseerde methodiek. De modellering van de milieu-impact is uitgevoerd in SimaPro (Oele & Dolfin, 2019). Bij toepassing van de EF3.1-methode in deze studie zijn mondiale en Europese inputs meegenomen, op basis van de beschikbaarheid in de database Ecoinvent. Parameters met wereldwijde input zijn onder meer: PVC, HDPE, RVS, aluminium, koper, diesel verbruikt in bouwmachines en bentoniet; Europese input omvat transport, gepolymeriseerd PVC, zand, beton, diesel, elektriciteit, grind en klei.

De milieu-impact wordt uitgedrukt in 16 milieu-impactcategorieën, zoals bijvoorbeeld Climate Change, Human Toxicity (cancer) en Resource Use. Uitkomst van de impact bepaling is een score van de milieu-impact voor elke impact categorie. De score wordt in deze LCA uitgedrukt in 'Environmental Footprint Single Score Indicator' of ook wel 'single points' (Pt) genoemd. Om de totale impact van scenario's te vergelijken, zijn de effecten op de verschillende impact categorieën bij elkaar gevoegd tot één score, de zogenaamde totale 'single point score'. De factoren voor normalisatie en weging van de impact categorieën zijn in Environmental footprint 3.1 opgenomen.

Opmerking: in de NMD-database wordt de single-score impact uitgedrukt als MKI-waarde (in euro's), in plaats van single points (in Pt). Er wordt daarbij gebruik gemaakt van Nederlandse inputs, en de normalisatie- en weegfactoren verschillen van de Europese waarden. De NMD is op dit moment in transitie, waarbij de impactcategorieën uit de standaard EN 15804/A1:2013 (hierna 'Set A1') vervangen gaan worden door de impactcategorieën uit de standaard EN 15804/A2:2019 (hierna 'Set A2'). Bij set A2 wordt gebruik gemaakt van dezelfde impactcategorieën als EF3.1. Een omzetting van deze LCA-studie naar MKI-waarden kan plaatsvinden door een erkende LCA-organisatie voor de Nationale Milieu-database.

### 3.7 Opzet gevoeligheidsanalyse

Het ontwerp van een bodemenergiesysteem kent veel variabelen die van invloed kunnen zijn op de milieu-impact. In deze studie is de gevoeligheidsanalyse beperkt gehouden tot een beschouwing van de invloed van levensduur, het gebouwoppervlak en diepte van de bronnen. Dit in combinatie met systeemgrootte, die centraal staat in de vier categorieën bodemenergiesystemen waarvoor de LCA-studie is uitgevoerd.

In de TKI-projectgroep zijn andere aspecten besproken voor vergroten van de circulariteit, die bij een gevoeligheidsanalyse in een vervolgstudie beschouwd kunnen worden, zoals:

- Het verhogen van de broncapaciteit door verhoging van het debiet door het toepassen van verhoogde stroomsnelheden ten opzichte van de ontwerpnormen, of het verhogen van het temperatuurverschil van de bronnen. Dit komt erop neer, dat met hetzelfde ondergronds bodemenergiesysteem een groter gebouw kan worden voorzien van warmte en koude (of het bodemenergiesysteem kan kleiner worden ontworpen).
- Het minimaliseren van putverstopping, bijvoorbeeld door meer frequente regeneratie. Dit komt neer op verhoging van de levensduur, in combinatie met een verhoging van grondstoffengebruik voor regeneratie.
- Het toepassen van andere materialen of het recyclen van materialen .
- Het toepassen van MTO of HTO, waarbij een hoger temperatuurverschil resulteert in meer capaciteit, in combinatie met andere materiaalkeuze.
- Het toepassen van één doublet met grotere bronnen, in plaats van meerdere kleine brondoubletten.

## 4 LCA resultaten: milieu-impact van materiaal- en grondstoffengebruik

### 4.1 Beschrijving dataset: gegevens materiaal- en grondstoffengebruik

#### *Drie datasets, overzicht materiaal- en grondstoffengebruik*

Drie boorbedrijven hebben gereageerd op de gegevens uitvraag, wat heeft geleid tot drie volledige datasets voor elk van de 4 categorieën (klein – zeer grote OBES) met gegevens over zowel het type materiaal/grondstof als de grootte of hoeveelheid van het type materiaal voor de gevraagde onderdelen beschreven in hoofdstuk 3.5. De resultaten zijn in bijlage IV van dit rapport geanonimiseerd weergegeven. De drie datasets zijn gebruikt om één ‘gemiddelde representatieve’ dataset per categorie te creëren. Deze dataset is vervolgens gebruikt voor de milieu-impact analyse met LCA.

Uit de aangeleverde gegevens van de drie boorbedrijven blijkt, dat het type materiaal voor de verschillende onderdelen van OBES in bijna alle gevallen hetzelfde is (bijv. putbuizen zijn van PVC, appendages in de techniekruimte zijn van RVS, het boorgat wordt (deels) aangevuld met mikolit 300). Bij het type bronpomp kan het materiaal verschillen tussen RVS of koper. Er is gekozen om het gewicht van de bronpomp mee te nemen als RVS. Het materiaaltype dat is gebruikt voor elk onderdeel van het systeem is weergegeven in Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Type materiaal- en grondstoffengebruik en gebruikte eenheid voor de 4 groepen.

| 1. Bron boren, inbouwen en aanvullen                                                                                                 |                                              |                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------|
| Naam                                                                                                                                 | Type grondstof / materiaal                   | Eenheid              |
| Boorspoeling                                                                                                                         | Antisol / Barisol                            | kg                   |
| Filterbuis, Stijgbuis, Peilbuis                                                                                                      | PVC                                          | kg                   |
| Beugels                                                                                                                              | RVS                                          | kg                   |
| Aanvulgrind, filtergrind                                                                                                             | Grind, zand                                  | ton                  |
| Kleikorrels                                                                                                                          | Mikolit 300                                  | ton                  |
| Aarddraad                                                                                                                            | Koper                                        | kg                   |
| Brandstof boorwagen, kraanwagen, aggregaat                                                                                           | Diesel                                       | liter                |
| 2. Broninstallatie en grondwatercircuit                                                                                              |                                              |                      |
| Onderwaterpomp                                                                                                                       | RVS / koper (in deze studie RVS aangehouden) | kg                   |
| Injectieklep, persleiding, putkop met appendages, appendages putkelder, leidingwerk en appendages technische ruimte, warmtewisselaar | RVS                                          | kg                   |
| Putdeksel                                                                                                                            | Aluminium                                    | kg                   |
| Putkelder                                                                                                                            | Beton                                        | kg                   |
| Brandstof voor kraanwagen en graafwerkzaamheden                                                                                      | Diesel                                       | kg                   |
| Horizontaal leidingwerk                                                                                                              | HDPE                                         | kg                   |
| Kabels                                                                                                                               | YMKas (voornamelijk koper)                   | kg                   |
| 3. Transport t.b.v. aanleg                                                                                                           |                                              |                      |
| Transport kilometers                                                                                                                 | Totale afstand materiaalvervoer              | km                   |
| Transport gewicht                                                                                                                    | Totale gewicht vervoerd                      | ton                  |
| 4. Instandhouding en beëindiging                                                                                                     |                                              |                      |
| Vrijkomend water spui en regeneratie                                                                                                 | Grondwater                                   | m <sup>3</sup> /jaar |
| Vervangen pomp                                                                                                                       | RVS / koper                                  | Eens per 20 jaar.    |

De hoeveelheid (grootte/gewicht/volumes) van het materiaal- en grondstoffengebruik dat is aangeleverd door de drie bedrijven, is voor de meeste onderdelen van een vergelijkbare orde grootte (+/- 50%). In veel gevallen is daarom gekozen om het gemiddelde van de drie aangeleverde waardes te nemen in de gebruikte dataset. Voor sommige gegevens zijn uitschieters weggelaten of zijn onlogische getallen aangepast. Hoe voor ieder onderdeel één representatieve waarde is bepaald is beschreven in de tabel in Bijlage IV.

### ***Materiaal- en grondstoffengebruik per type geaggregeerd***

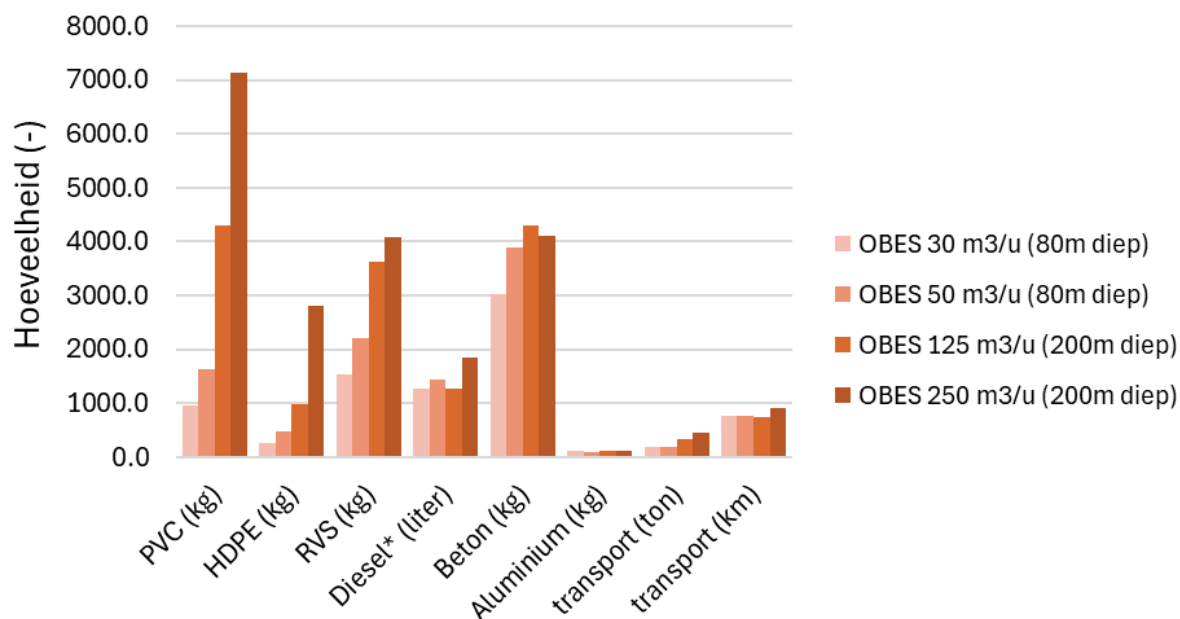
Het materiaal- en grondstoffengebruik is per type materiaal/grondstof geaggregeerd (dus bijv. alle kg RVS is opgeteld) en gepresenteerd in Figuur 4-1 voor de 4 categorieën bodemenergiesystemen. Zoals verwacht neemt de totale hoeveelheid/gewicht van het materiaal dat nodig is voor het systeem toe met toenemende grootte van het systeem:

- De hoeveelheid RVS die nodig is neemt van categorie 1 (1522 kg) tot 4 (4092 kg) toe met iets meer dan 2500 kg, een 170% toename.
- Het gewicht van alle transporten naar de locatie toe neemt toe met 150% van categorie 1 naar 4.
- De hoeveelheid PVC die wordt gebruikt voor de put en het putfilter neemt toe van categorie 1 tot 4 van ongeveer 1000 kg tot ruim 7000 kg, een toename van 600%. Daarbij moet bedacht worden, dat voor de brondiepte in categorie 3 en 4 een waarde van 200 meter is aangehouden, en in categorie 1 en 2 een diepte van 80 meter. Daarbij neemt ook de diameter van de put toe voor de verschillende categorieën, 1: 500mm, 2: 600mm, 3: 700mm, 4: 800mm.
- De hoeveelheid HDPE heeft een toename 1000% van categorie 1 naar 4, met een opvallend grote toename van categorie 3 naar categorie 4.
- De hoeveelheid diesel voor de (boor)werkzaamheden en het gewicht aan beton van de putconstructie nemen respectievelijk 45% en 36% toe. De hoeveelheid aluminium gebruikt voor afwerking van de put blijft nagenoeg gelijk.

Voor een aantal gegevens zijn opvallende of inconsistente waarden te zien qua hoeveelheden materiaal- en grondstoffengebruik bij toenemende grootte van de categorieën:

- HDPE sterke toename van categorie 3 naar 4
- Diesel verbruik is groter voor categorie 2 dan voor categorie 3
- De hoeveelheid beton (voor de putkelder) neemt af van categorie 3 naar categorie 4
- De transportafstand (km) is het kleinste voor categorie 3

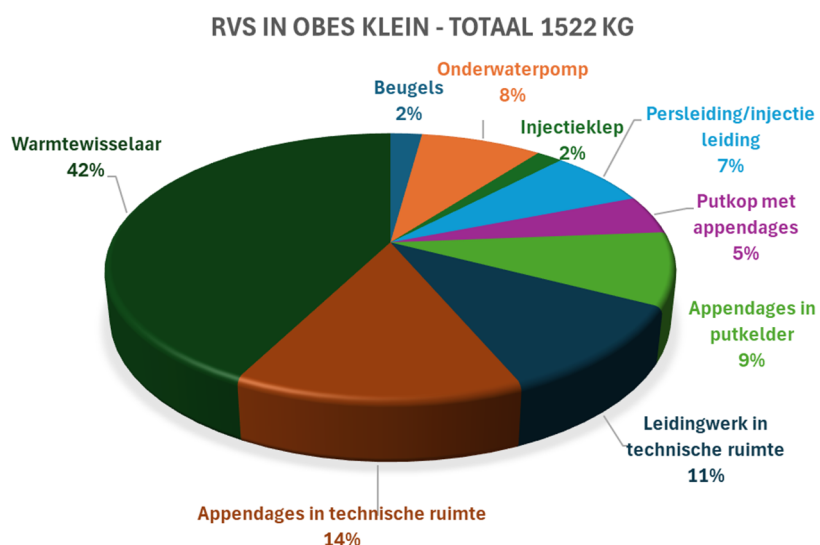
Of deze data kloppen met de praktijk, of dat een afwijking wordt veroorzaakt door inconsistenties in de geïnventariseerde gegevens, kan in een vervolgstudie worden uitgezocht. De inconsistenties zijn als relatief klein beoordeeld, en hebben op dit moment weinig invloed op de algemene uitkomsten van het LCA onderzoek.



Figuur 4-1 De belangrijkste typen materialen en energie geaggregeerd voor de 4 categorieën. De y-as is eenheidsloos en de eenheden zijn gegeven voor ieder materiaal in de legenda op de x-as. \*Diesel is de diesel die gebruikt wordt voor de werkzaamheden op locatie voor bijv. boren; diesel gebruik voor transport wordt impliciet meegenomen in het aantal ton\*km transport.

#### Gebruik van RVS in verschillende delen van het ondergronds systeem

RVS wordt in totaal bij 9 verschillende onderdelen van het systeem gebruikt. Het grootste aandeel (42%) van het totale gewicht aan RVS wordt gebruikt voor de warmtewisselaar bij categorie 1 (Figuur 4-2). Dat is ook zo bij de andere categorieën (42 – 58%, Bijlage V). Daarnaast wordt er relatief veel RVS gebruikt in de appendages en het leidingwerk in de technische ruimte. Het RVS gebruik in de bronnen is relatief klein (putkop, persleiding, injectieklep). Ondanks dat de pomp iedere 20 jaar wordt vervangen is ook de bijdrage hiervan op het totale materiaalgebruik relatief klein (Figuur 4-2: bij categorie 1 is slechts 8%). Voor de andere categorieën zie Bijlage V.

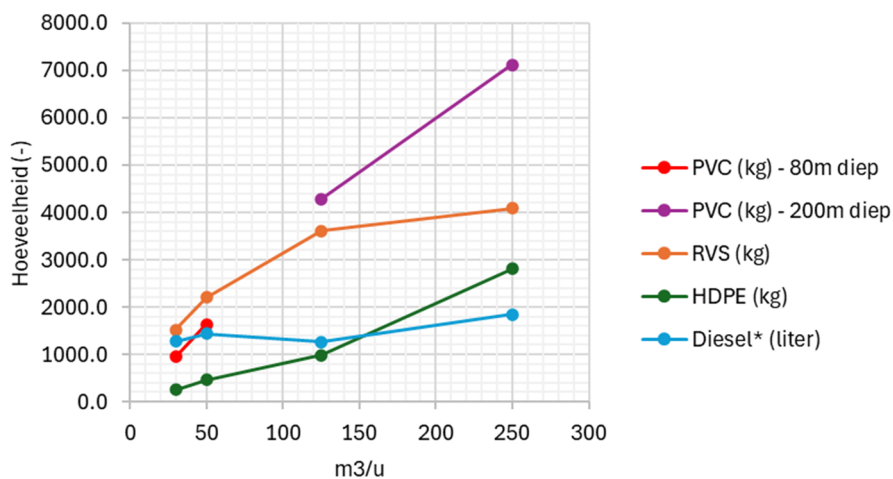


Figuur 4-2 Verdeling totale gewicht aan RVS (1522 kg) over de verschillende onderdelen voor de categorie 1 (OBES 30 m<sup>3</sup>/u). Voor de andere categorieën is een vergelijkbare verdeling vastgesteld (aandeel warmtewisselaar wordt wat groter bij de grotere systemen). Figuren voor de andere categorieën zijn gegeven in Bijlage V.

### Analyse toename materiaalgebruik bij oplopende systeemgrootte

Voor 4 materialen/grondstoffen die in relatief grote hoeveelheden worden gebruikt voor het systeem is de hoeveelheid weergegeven met toenemende capaciteit van de OBES.

- De hoeveelheid PVC die wordt gebruikt is weergegeven in twee aparte grafieklijnen, omdat de gebruikte diepte bij categorie 1 en 2 (80m) niet gelijk is aan de gebruikte diepte bij categorie 3 en 4 (200m) en de totale hoeveelheid PVC sterk wordt beïnvloed door de diepte van de bronnen. Ondanks dat de bronnen bij categorie 3 en 4 tot 200m diepte gaan lijkt het gewicht aan PVC toch af te nemen ten opzichte van de lineaire toename geconstateerd bij categorie 1 en 2. De hoeveelheid PVC die wordt gebruikt neemt ook toe bij grotere systemen doordat er grotere diameters worden toegepast.
- De hoeveelheid RVS neemt toe met oplopende systeemgrootte, maar niet één op één: het relatieve aandeel RVS gebruik neemt af voor grotere systemen.
- De hoeveelheid diesel die wordt gebruikt neemt gemiddeld genomen iets toe maar de toename is redelijk beperkt.
- De hoeveelheid HDPE die wordt gebruikt in het verbindend leidingwerk neemt toe (ongeveer lineair) voor grotere systemen; dit komt deels doordat er buizen met grotere diameter nodig zijn en deels doordat de grondwaterbronnen verder uit elkaar komen te liggen en er dus meer lengte HDPE leiding nodig is.



Figuur 4-3 Toename van de hoeveelheid materiaalgebruik van een open bodemenergiesysteem met toenemende grootte. Op de x-as staat het maximale debiet van het systeem, op de y-as staat de hoeveelheid materiaalgebruik in kg of liter (zie legenda). De datapunten geven de vier OBES categorieën weer.

## 4.2 Resultaten milieu-impact bepaling

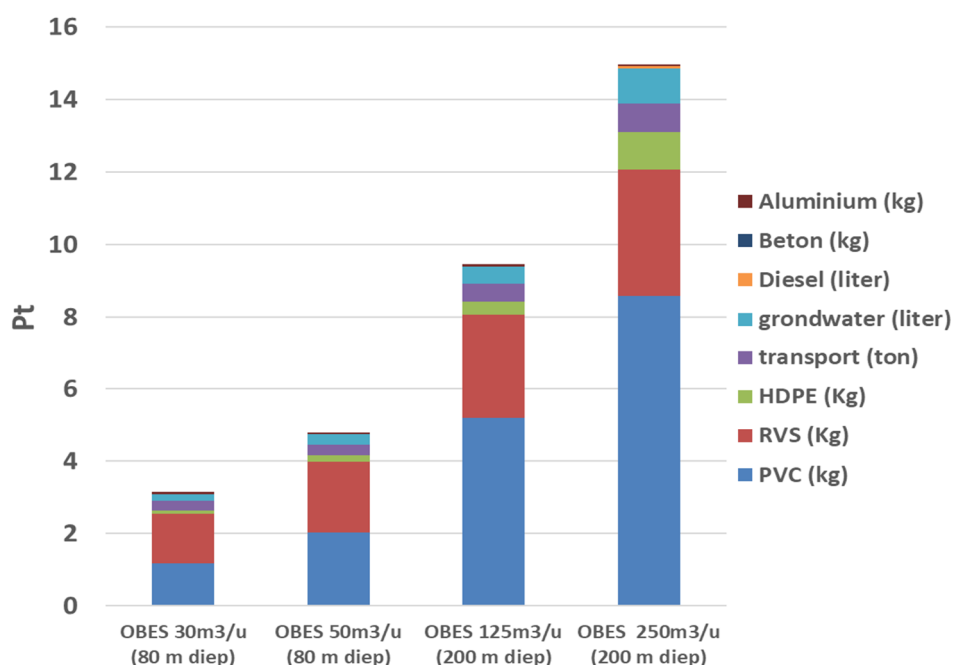
Deze paragraaf geeft de resultaten weer van de milieu-impact bepaling van het ondergrondse deel van de vier bodemenergiesystemen met oplopende systeemgroottes. De LCA-resultaten zijn bepaald, genormaliseerd en gewogen op basis van de Environmental Footprint (EF 3.1) methode.

Figuur 4-4 geeft de totale opgetelde milieu-impact weer van de verschillende materialen en grondstoffen gebruikt voor de vier categorieën OBES. De totale milieu-impact, uitgedrukt in 'single-points', neemt toe van categorie 1 tot 4 (Figuur 4-4), in lijn met ook toenemende materiaal- en grondstoffengebruik bij oplopende systeemgrootte (Figuur 4-1). De meest prominente milieu-impacts worden veroorzaakt door:

1. PVC: dominant in categorie 3 en 4 (boordiepte 200 m), bij categorie 1 en 2 (boordiepte 80 m) vergelijkbare impact als RVS
2. RVS: neemt iets toe met grotere systemen maar de milieu-impact neemt relatief af bij grotere systemen.
3. HDPE: is bij categorie 1 en 2 relatief klein maar neemt sterk toe in grotere systemen, met name in Categorie 4 milieu-impact van ~1 single point.

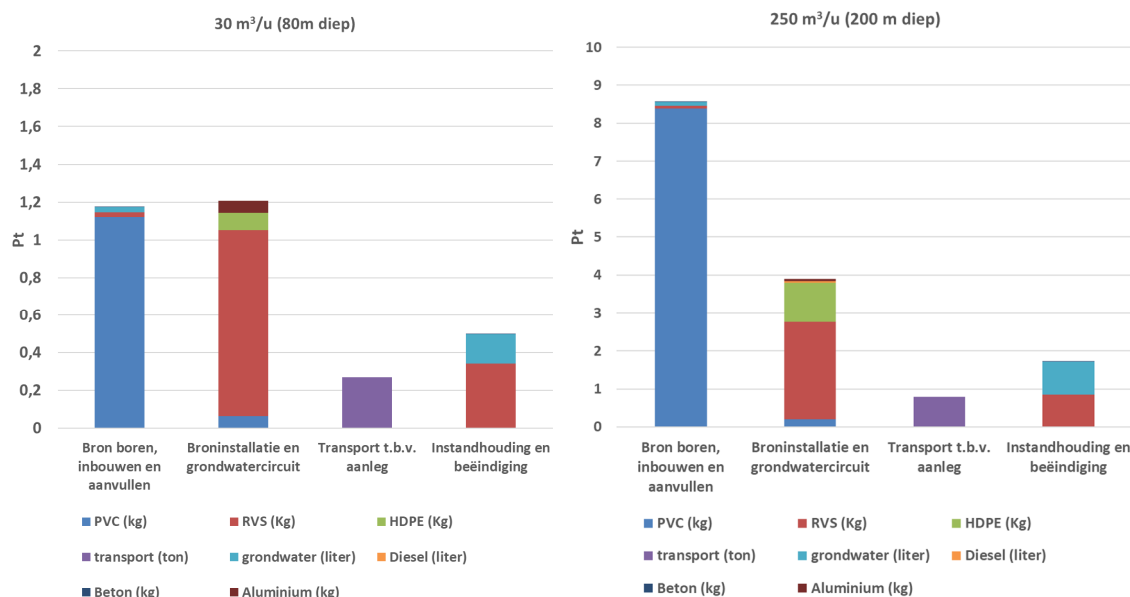
Transport en grondwater gerelateerde emissies nemen ook toe met de omvang van het systeem, maar hebben een relatief kleine milieu-impact.

De milieu-impact van de het materiaal- en grondstoffengebruik van OBES heeft de grootste impact op de indicatoren Human Toxicity (cancer), Climate Change en Resource Use (zie bijlage V). Dit wordt voornamelijk toegeschreven aan de hoeveelheid PVC, RVS, transport en het dieselgebruik.



Figuur 4-4 Impact van materiaal- en grondstoffenverbruik van de 4 categorieën op basis van de EF3,1-methode. Milieu-impact is uitgedrukt in single points (Pt) per categorie.

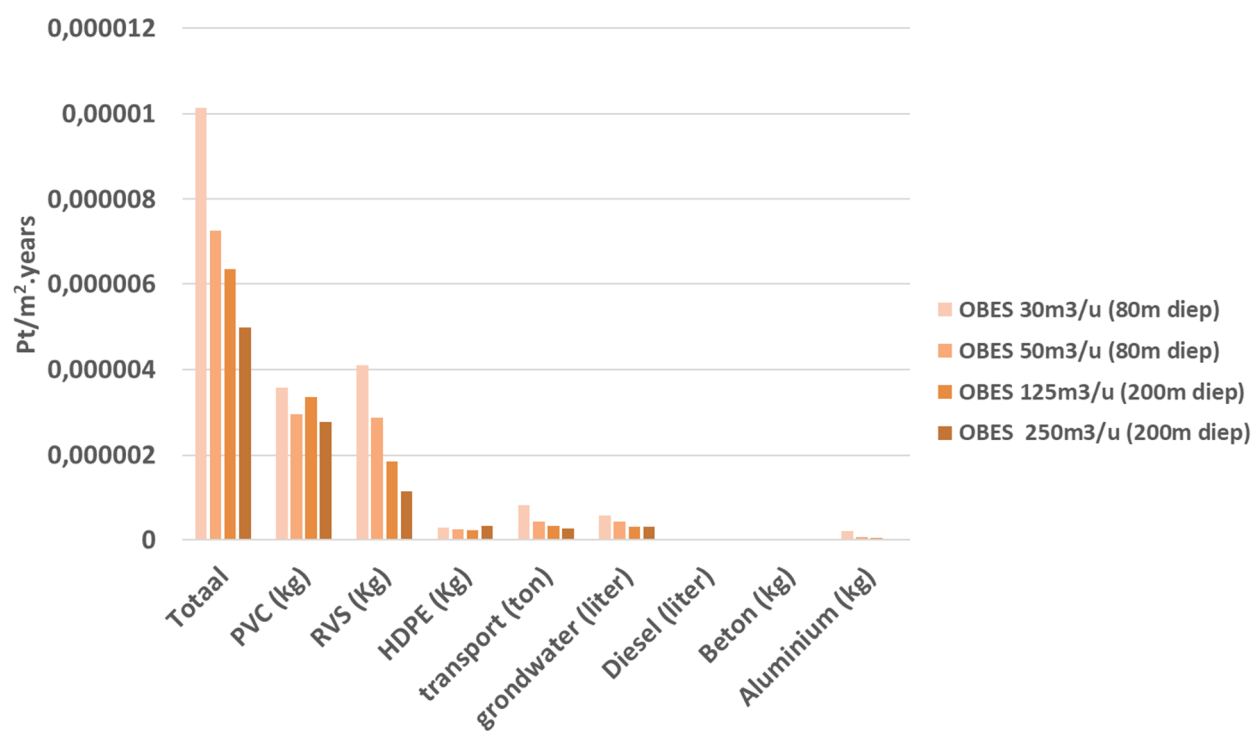
In Figuur 4-5 is de milieu-impact voor het kleinste systeem categorie 1 (30 m<sup>3</sup>/u en 80m diep) en het grootste systeem categorie 4 (250 m<sup>3</sup>/u, 200m diep) weergegeven per fase van het productieproces van het systeem. Bij het kleinere systeem komt de grootste milieu-impact van zowel het boren van het systeem (PVC gebruik, aanvulmateriaal) als de installatie (RVS, HDPE), terwijl voor de grote OBES het materiaalgebruik voor de bronnen (voornamelijk PVC) steeds belangrijker wordt.



Figuur 4-5 Impact van materiaal- en grondstoffenverbruik, uitgesplitst in subcategorieën, voor het kleinste systemen van 30 m<sup>3</sup>/u en het zeer grote systeem van 250 m<sup>3</sup>/u. Impact bepaling op basis van de EF3.1-methode. Milieu-impact is uitgedrukt in single points (Pt) per categorie.

Figuur 4-6 geeft de milieu-impact per m<sup>2</sup> bvo (vloeroppervlak) per jaar weer. Met toenemende grootte van de OBES wordt de relatieve milieu-impact kleiner. Een grotere OBES voorziet een groter gebouwoppervlak van energie voor hetzelfde materiaal- en grondstoffengebruik voor het ondergronds systeem, en heeft dus relatief minder impact. Het grote en zeer grote systeem (categorie 3 en 4) hebben een duidelijk schaalvoordeel, ondanks dat bij deze systemen uitgegaan is van een kortere levensduur (50 jaar voor utiliteitsgebouwen) ten opzichte van het kleine en middelgrote systeem (categorie 1 en 2, 75 jaar voor woningen), terwijl bij het grote en zeer grote systeem van categorie 3 en 4 ook uitgegaan is van diepere bronnen (200 meter in plaats van 80 meter).

Als gekeken wordt naar de milieu-impact per m<sup>2</sup> per jaar van de afzonderlijke materialen, dan is over het algemeen een dalende milieu-impact te zien bij toenemende systeemgrootte (Figuur 4-6). Alleen de milieu-impact bij PVC blijft ongeveer gelijk bij categorie 3 en 4 ten opzichte van categorie 1 en 2, vanwege de grotere aangenomen brondiepte. In deze milieu-impact bepaling wordt berekend dat de relatieve milieu-impact van het materiaal- en grondstoffengebruik van een zeer groot bodemenergiesysteem (categorie 4) de helft bedraagt (0,005 mPt/m<sup>2</sup>/jaar) ten opzichte van een klein systeem (categorie 1, 0,01 mPt/m<sup>2</sup>/jaar). Indien er wordt gecorrigeerd voor de afwijkende uitgangspunten (levensduur, diepte) zal het schaalvoordeel nog verder toenemen.

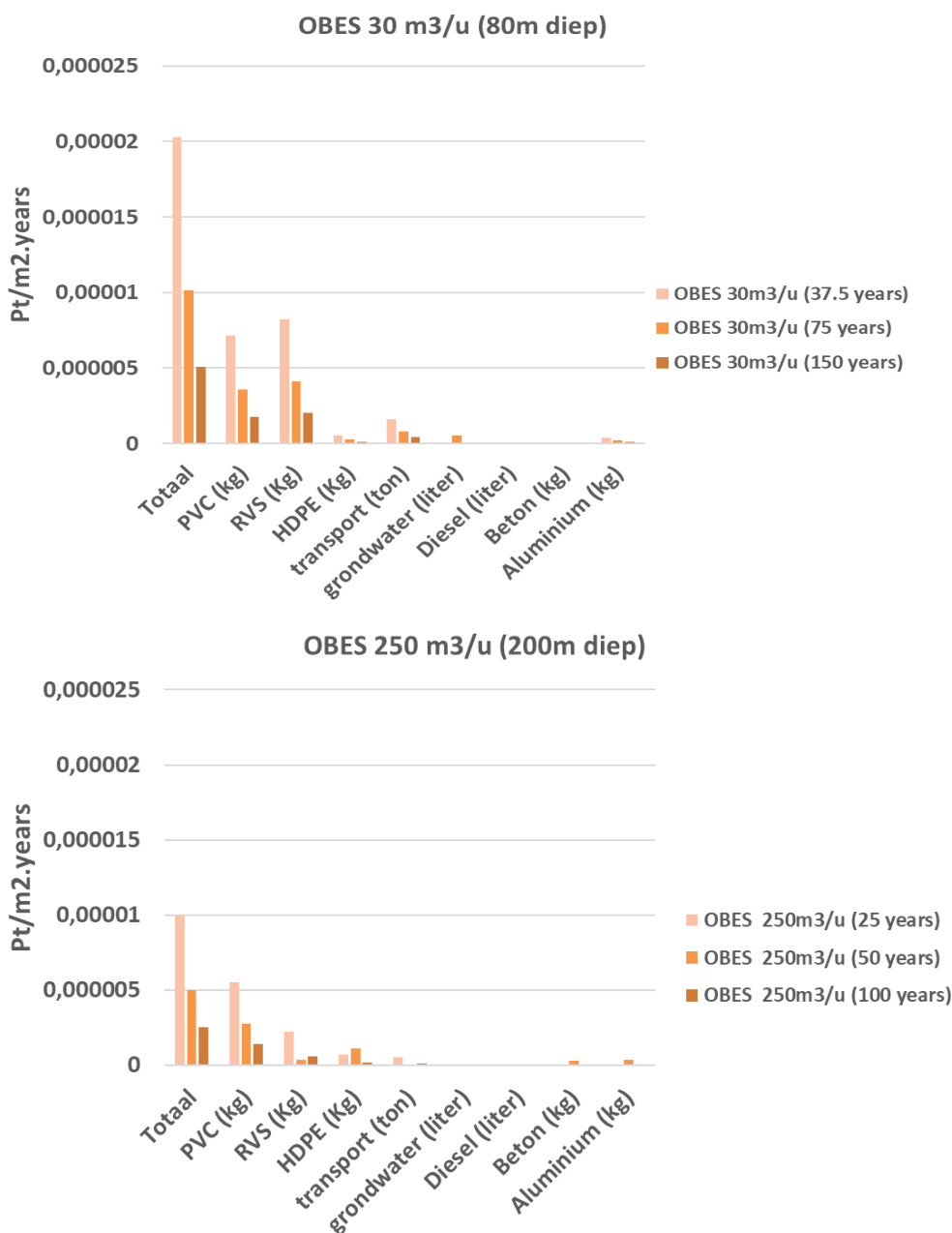


Figuur 4-6 Impact van het materiaal- en grondstoffengebruik, genormaliseerd voor gebouwoppervlakte en levensduur van de 4 categorieën op basis van de EF3.1-methode. Milieu-impact is uitgedrukt in single points per area per year (Pt/m².year).

### 4.3 Gevoeligheidsanalyse

In de gevoeligheidsanalyse wordt de invloed van levensduur en diepte van de bronnen beschouwd.

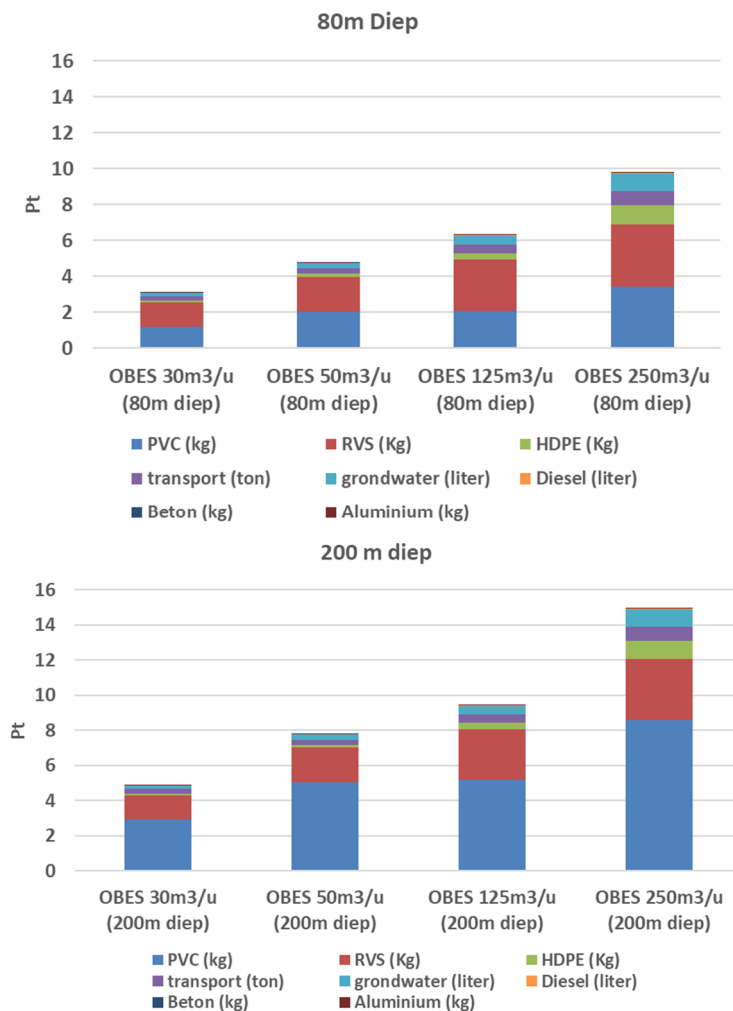
In Figuur 4-7 is opgenomen hoe de impact verandert als de levensduur wordt gehalveerd of verdubbeld voor categorie 1 en categorie 4. Uit de figuur blijkt dat de milieu-impact van het ondergronds deel van het kleine systeem (categorie 1, OBES 30 m<sup>3</sup>/uur) in deze LCA-studie vergelijkbaar is met die van het zeer groot systeem (categorie 4, OBES 250 m<sup>3</sup>/uur) met een levensduur van 25 jaar.



Figuur 4-7 Gevoeligheidsanalyse voor de milieu-impact bepaling op basis van verandering in levensduur voor boven: OBES 30 m<sup>3</sup>/u en 80m diep (categorie 1) en onder OBES 250 m<sup>3</sup>/u en 200m diepte (categorie 4).

Figuur 4-8 geeft de milieu-impact van de vier categorieën weer, waarbij de brondiepte voor de vier categorieën gelijk is getrokken (voor zowel 80 meter diepte als 200 meter diepte). Voor PVC, zand en klei (mikoliet) verandert de milieu-impact overeenkomstig met de verandering in diepte, voor de overige

materialen en grondstoffen blijft dit gelijk. Uit vergelijking van beide dieptes blijkt, dat voor een systeem van 200 meter diep ongeveer een factor 1,5x grotere totale milieu-impact wordt berekend, in vergelijking met een systeem van 80 meter diep.



Figuur 4-8 Gevoeligheidsanalyse: milieu-impact bepaling op basis van verandering in diepte (80m - boven, 200m - onder).

## 5 Milieu-impact energieverbruik tijdens gebruiksfase

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het energiegebruik in de gebruiksfase van het bodemenergiesysteem. Zoals eerder beschreven, valt energiegebruik in de gebruiksfase van een gebouw buiten de scope van de LCA-studie in hoofdstuk 3 en 4, in lijn met de MPG-methode. Maar om wel inzichtelijk te maken hoe de milieu-impact van het energieverbruik zich verhoudt tot de milieu-impact van het materiaal- en grondstoffengebruik van OBES (de LCA analyse in hoofdstuk 4) is in dit hoofdstuk een beknopte beschouwing opgenomen van het energiegebruik in de gebruiksfase van gebouwen voor de gekozen levensduur.

Een bodemenergiesysteem is bedoeld voor het leveren van warmte en koude met een hoge energieprestatie, hoger dan bijvoorbeeld een gasketel of een lucht/water warmtepomp. We verkennen het totaal perspectief van (1) de milieu-impact van materialen en grondstoffen (vanuit de LCA-studie, de “voetafdruk van bodemenergie”) ten opzichte van (2) een hogere energieprestatie van bodemenergie bij de verwarming en koeling van gebouwen (“handafdruk van bodemenergie”).

### 5.1 Berekeningsmethode

In de gebruiksfase bestaat het energieverbruik van een bodemenergiesysteem voor het overgrote deel uit het elektriciteitsgebruik van de warmtepomp en de bronpompen. Om het energiegebruik te bepalen hanteren we in dit hoofdstuk een andere scope dan in de LCA-studie (hoofdstuk 3.4) van de voorgaande hoofdstukken. Het verschil zit in:

- Smallere scope levenscyclus: deze beschouwing richt zich op de gebruiksfase van het gebouw;
- Bredere systeemscope: deze beschouwing richt zich op de levering van warmte en koude aan het gebouw door het bodemenergiesysteem inclusief de warmtepomp;
- Impact-categorie: enkel de impact van CO<sub>2</sub> emissie door elektriciteitsgebruik wordt beschouwd.

Vanwege het verschil in scope is dit hoofdstuk enkel bedoeld ter verkenning. Een volledige vergelijking van de LCA-analyse én energieverbruik op gebouwniveau strekt voor deze studie te ver en schiet voorbij het primaire doel van het onderzoek.

#### ***Bepaling energielevering en energiegebruik***

Bij de berekening van het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp en bronpompen zijn aannames gedaan, waarbij gebruik is gemaakt van algemene kentallen. Voor het bepalen van de energiegebruik van de vier categorieën bodemenergiesystemen (paragraaf 3.4), zijn de volgende energetische aannames gedaan:

- Verwarmingsvermogen: 35 kW/m<sup>2</sup>
- Koelvermogen: 20 kW/m<sup>2</sup> voor woningen, 35 kW/m<sup>2</sup> voor utiliteitsgebouwen
- Equivalente vollasturen verwarming: 1650 uur
- Equivalente vollasturen koeling: 800 uur voor woningen, 1375 uur voor utiliteitsgebouwen
- SCOP warmtepomp voor warmtelevering: SCOP 5,5 voor woningen, SCOP 6,0 voor utiliteit
- COP van de bronpompen: COP = 30

Op basis van deze uitgangspunten is de hoeveelheid geleverde warmte en koude bepaald (kWh/jaar) en het elektriciteitsgebruik van warmtepomp en bronpompen (kWh/jaar).

Opmerking:

De uitgangspunten zijn zó gekozen, dat voor de kleinere systemen (woningen) sprake is van een koudeoverschot in de bodem, en voor de grotere systemen (utiliteit) voldaan wordt aan de vereiste energiebalans in de bodem. Voor de eenvoud is bij deze uitgangspunten verder geen onderscheid gemaakt in SCOP voor ruimteverwarming en tapwater, er is geen rekening gehouden met een regeneratievoorziening, etc. Voor het doel van deze beschouwing geeft deze vereenvoudigde weergave voldoende beeld; een daadwerkelijk installatieontwerp is genuanceerder en heeft scherpere aannames voor vollasturen en SCOP's.

### Bepaling CO<sub>2</sub> emissie en milieu-impact

Voor de bepaling van de CO<sub>2</sub> emissie van het elektriciteitsgebruik, is gebruik gemaakt van emissie-gegevens van elektriciteit in Nederland (grijze stroom). In 2024 bedroeg de CO<sub>2</sub>-emissiefactor voor ingekochte grijze stroom in Nederland 0,536 kg CO<sub>2</sub>/kWh (website Milieubarometer, geraadpleegd op 25 augustus 2025). Voor de bepaling van de milieu-impact van de CO<sub>2</sub> emissie, is de normalisatie en weegfactor van de impact categorie "klimaatverandering" gebruikt uit de EF 3.1 methode: een factor van 0,0279 Pt/ton CO<sub>2</sub>-eq (Bassi et al., 2023).

## 5.2 Resultaten

In Tabel 5-1 is het elektriciteitsgebruik van de warmtepomp en de bronpompen berekend, en is de milieu-impact berekend voor alleen de impactcategorie 'Klimaatverandering' als gevolg van de CO<sub>2</sub> emissie van het elektriciteitsgebruik. Met de aangehouden kentallen wordt voor de bodemenergiesystemen een impact van berekend op circa 0,19 mPt/m<sup>2</sup>/jr. Ter vergelijking: in hoofdstuk 4 is de milieu-impact van de materialen en grondstoffen van het ondergronds deel van deze bodemenergiesystemen berekend op 0,005 à 0,010 mPt/m<sup>2</sup>/jr, waarbij de impact op alle milieu-impactcategorieën samen is berekend. De milieu-impact door het gebruik van elektriciteit is op basis van deze analyse dus een factor 20 tot 40 hoger dan de milieu-impact van het materiaal- en grondstoffengebruik van OBES. Als ook de andere milieu-impacts van het elektriciteitsgebruik (naast 'klimaatverandering') worden meegerekend, neemt deze verhouding naar verwachting nog verder toe.

*Tabel 5-1 Berekening van het elektriciteitsgebruik van de warmtepomp en bronpompen van het bodemenergiesysteem in de gebruiksfase, en impact bepaling van de CO<sub>2</sub>-emissie van het elektriciteitsgebruik op de impactcategorie 'Klimaatverandering', op basis van kentallen.*

|                                                                    | Bodemenergie categorie |                         |                        |                             |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|
|                                                                    | Categorie 1<br>"klein" | Categorie 2<br>"middel" | Categorie 3<br>"groot" | Categorie 4<br>"zeer groot" |
| Bodemenergiesysteem (m <sup>3</sup> /uur)                          | 30                     | 50                      | 125                    | 250                         |
| Gebouw oppervlak (m <sup>2</sup> )                                 | 4.400                  | 9.100                   | 31.000                 | 62.000                      |
| Warmtelevering aan het gebouw (MWh/jr)                             | 264                    | 520                     | 1.790                  | 3.581                       |
| Warmtelevering vanuit de bodem (MWh/jr)                            | 216                    | 425                     | 1.492                  | 2.984                       |
| Koudelevering vanuit de bodem (MWh/jr)                             | 70                     | 146                     | 1.492                  | 2.984                       |
| Elektriciteit warmtepomp (MWh <sub>e</sub> /jr)                    | 48                     | 95                      | 298                    | 597                         |
| Elektriciteit bronpompen (MWh <sub>e</sub> /jr)                    | 10                     | 19                      | 99                     | 199                         |
| Elektriciteit totaal (MWh <sub>e</sub> /jr)                        | 58                     | 114                     | 398                    | 796                         |
| CO <sub>2</sub> -emissie (ton CO <sub>2</sub> /jr)                 | 31                     | 61                      | 213                    | 426                         |
| Impact CO <sub>2</sub> -emissie (Pt/jr)                            | 0,86                   | 1,70                    | 5,95                   | 11,89                       |
| Relatieve impact CO <sub>2</sub> -emissie (mPt/m <sup>2</sup> /jr) | 0,19                   | 0,19                    | 0,19                   | 0,19                        |

### 5.3 Perspectief

De milieu-impact van het elektriciteitsgebruik van een bodemenergiesysteem voor verwarming en koeling van gebouwen, blijkt (met de aangehouden LCA-methoden en weegfactoren) aanzienlijk groter dan de milieu-impact van het materiaal- en grondstoffengebruik van het ondergronds deel van het bodemenergiesysteem. Dit geeft het perspectief, dat een hogere energieprestatie door toepassing van een bodemenergiesysteem (de “handafdruk”) op kan wegen tegen het materiaal- en grondstoffengebruik (de “voetafdruk”) van het ondergronds deel van het bodemenergiesysteem.

## 6 Discussie

### 6.1 Circulaire economie versus milieu-impact

In deze verkenning is een milieu-impact analyse uitgevoerd, met het oog op het verhogen van circulariteit van bodemenergiesystemen. Bedacht moet worden, dat circulariteit en milieu-impact twee verschillende begrippen zijn. Ook al zou je 100% circulair materiaalgebruik hebben, dan nog is er sprake van milieu-impact. Het circuleren van materialen (terugwinnen, hergebruiken, recyclen) brengt per definitie milieubelastende activiteiten met zich mee. Bovendien is een circulair product of proces niet per definitie een minder milieubelastend proces in vergelijking met het conventionele (lineaire) alternatief, ook al wordt deze aanname soms (impliciet) wel gemaakt. De duurzaamheid van een product of proces hangt uiteindelijk altijd af van context-gebonden factoren, zoals de herkomst van materialen, de energie-, water- en materiaalbehoefte van het productieproces, transportafstanden en eindverwerking. Het is daarom belangrijk om milieu-impact te blijven meten aan de hand van LCA-studies en te onthouden dat circulariteit op zichzelf geen doel is maar een middel om een duurzamer product of proces te creëren. De beleidsdoelstelling “100% circulair” betekent met andere woorden dus niet dat je streeft naar nul milieu-impact, maar naar een zo minimaal mogelijke impact (voetafdruk) voor het realiseren van een prettig woonklimaat met hernieuwbare verwarming en koeling (handafdruk).

### 6.2 Hergebruik bij beëindiging van het systeem

In de wettelijke verplichte richtlijnen voor bodemenergiesystemen is opgenomen, dat vanuit oogpunt van bodembescherming na beëindiging van het bodemenergiesysteem de bronnen in de bodem achterblijven (Protocol SIKB-11001). De PVC-leidingmaterialen kunnen volgens de huidige richtlijnen dus niet worden hergebruikt.

Bij de uitgevoerde LCA-studie is als uitgangspunt aangehouden, dat het gebruikte PVC voor een bodemenergiesysteem volledig nieuw geproduceerd PVC is zonder een gerecycled aandeel, en bij beëindiging van het systeem verder niet wordt hergebruikt.

### 6.3 Toepassing van LCA-resultaten

LCA-studies zijn gebaseerd op de best beschikbare en meest wetenschappelijk onderbouwde methode om milieu-impact in kaart te brengen en hebben dus veel waarde om verschillende technieken en systemen met elkaar te kunnen vergelijken en daarbij inzicht te geven in hoe de milieu-impact verminderd kan worden. Tegelijkertijd blijven resultaten uit een LCA-studie een benadering van de werkelijkheid – die is gebaseerd op gemiddelde waarden voor gemiddelde situaties – waarbij de mogelijkheden tot verbetering van die resultaten ongeveer oneindig zijn. Bij de interpretatie van LCA-studies moeten we altijd in gedachte houden, dat LCA-resultaten nooit als ‘harde’ feiten opgevat mogen worden. Dit geldt des te meer wanneer producten of processen worden vergeleken aan de hand van LCA-studies. De resultaten van een LCA-studie worden namelijk in sterke mate beïnvloed door contextfactoren en aannames. Milieuprofielen van grondstoffen kunnen ook in de tijd veranderen met voortgaande verduurzamingsmaatregelen. Daardoor kunnen verschillende LCA-studies zelden met elkaar worden vergeleken.

Bijvoorbeeld: voor PVC is in deze LCA-studie een Europees milieuprofiel gebruikt van juni 2023. In Nederland gelden sinds november 2024 nieuwe eisen ten aanzien van loodhoudendheid. Na aanpassing van het milieuprofiel van PVC in lijn met deze nieuwe eisen, kunnen LCA-resultaten (enigszins) afwijken.

In het kader van deze studie is het daarnaast belangrijk om te benoemen dat grondwaterkwaliteit (nog) geen erkende milieu-impact categorie is binnen LCA-studies. In de uitgevoerde LCA-studie komt dit aspect dan ook niet aan de orde.

## 7 Conclusies en aanbevelingen

### 7.1 Conclusies

Een inventarisatie is uitgevoerd naar het materiaal- en grondstoffengebruik van het ondergronds deel van open bodemenergiesystemen. Door het aanleveren van datasets door drie boorbedrijven (waarvoor nogmaals dank) is een representatieve dataset samengesteld voor bodemenergiesystemen met oplopende systeemgrootte. Deze verkenning van het milieuprofiel van open bodemenergiesystemen, heeft de volgende gegevens en inzichten opgeleverd:

- Het grootste aandeel in het milieuprofiel van het ondergronds deel zit in PVC en RVS, gevolgd door HDPE. PVC wordt gebruikt voor de bronnen, RVS wordt gebruikt in de bronnen en in de technische ruimte (voornamelijk de warmtewisselaar). HDPE wordt gebruikt voor het verbindend leidingwerk.
- De resultaten van de LCA-studie komen goed overeen met de geraadpleegde studies in de literatuur, betreffende het ondergronds deel. Daarbij wordt opgemerkt, dat in Nederland PVC wordt toegepast in de verticale leidingdelen van de bron, en in de buitenlandse systemen RVS.
- Wanneer gekeken wordt naar het milieuprofiel per vierkante meter gebouwoppervlak per jaar, dan blijkt dat met toenemende grootte van het systeem, het materiaal- en grondstoffengebruik relatief gezien kleiner wordt. Het ondergronds deel van een groter bodemenergiesysteem heeft relatief gezien minder milieu-impact dan een kleiner bodemenergiesysteem.
- De milieu-impact van het elektriciteitsgebruik van een bodemenergiesysteem in de gebruiksfase, is (met de huidige stroommix) aanzienlijk groter dan het milieuprofiel van het materiaal- en grondstoffengebruik van het ondergronds deel van het bodemenergiesysteem. Hoewel het energieverbruik tijdens de gebruiksfase in deze LCA-studie buiten de scope is gehouden (overeenkomstig de werkwijze van de MPG), is deze conclusie op basis van een beknopte beschouwing afgeleid. Dit is in lijn met de resultaten van de geraadpleegde studies.
- De verkregen dataset bij de inventarisatie en de uitgevoerde bepaling van het milieuprofiel kunnen benut worden door een erkende LCA-organisatie voor de Nationale Milieu-database, waarbij de resultaten van deze LCA-studie naar MKI-waarden kan plaatsvinden.
- De scope van deze LCA-studie beperkt zich tot het ondergronds deel van bodemenergiesystemen, overeenkomstig de aanleiding en het doel van deze verkenning. Om het milieuprofiel van open bodemenergiesystemen te vergelijken met andere technieken voor verwarming en koeling, is een bredere scope nodig, waarbij MPG-bepaling gecombineerd wordt met energetische analyse.

## 7.2 Aanbevelingen voor verbetering van het milieuprofiel van bodemenergie

Het stroomverbruik tijdens de gebruiksfase van een bodemenergiesysteem is het meest bepalend voor het milieuprofiel van bodemenergiesystemen. De beste manier om het milieuprofiel van bodemenergiesystemen op dit moment te verbeteren, is het verduurzamen van de stroommix in Nederland. In de komende decennia wordt naar verwachting de stroommix duurzamer in Nederland (Sijm, 2024).

Aanleiding en doel van deze verkenning zijn het vergroten van circulariteit van bodemenergiesystemen, met een specifieke focus op het materiaal- en grondstoffenverbruik van het ondergronds systeem. Om het milieuprofiel van dit deel te verbeteren, zijn er drie mogelijke sporen:

1. de capaciteit van bodemenergiesystemen vergroten, zodat de systemen met gelijkblijvend materiaalgebruik voor het ondergronds systeem meer verwarming en koeling kunnen leveren
2. de levensduur van bodemenergiesystemen verlengen, zodat het milieuprofiel van de aanleg van het systeem over een langere tijd wordt benut
3. het gebruik van materialen en grondstoffen verduurzamen, door vermindering van materiaal, vervanging door duurzamere alternatieven, of hergebruik.

### 1. Capaciteit van bodemenergie vergroten

De capaciteit van OBES bronnen kan worden vergroot door verhoging van het temperatuurverschil ( $\Delta T$ ) tussen de warme en koude bron(nen). De  $\Delta T$  kan bij reguliere systemen mogelijk al vergroot worden door beter gebruik te maken van de maximale warme bron temperatuur van 25 °C. MTO en HTO-systemen zijn vanuit dit perspectief nog aantrekkelijker. Al zijn bij deze systemen in deels andere materialen nodig.

Daarnaast levert een verhoging van het maximale debiet per bron in een grotere capaciteit. Het verhogen van de maximale snelheid op de boorgatwand boven de huidige ontwerprichtlijnen vergt nader onderzoek. Grotere boor en brondiameters zouden hier mogelijk ook bij kunnen helpen. De resultaten van de huidige studie kunnen worden benut voor verdere analyse van hoe een hogere capaciteit door vergroting van de boordiameter in verhouding staat tot toename van PVC gebruik.

Daarnaast heeft het koppelen van gebouwen (collectieve WKO) potentie om met dezelfde bronnen meer warmte te leveren, omdat dubletten voor te kleine gebouwen soms worden onderbenut.

### 2. Levensduur verlengen

De levensduur van een bodemenergiesysteem is in deze studie gelijk gehouden met de aangehouden levensduur van woningen en utiliteitsgebouwen in de MPG. Open bodemenergiesysteem in Nederland zijn op dit moment korter in gebruik dan de levensduur meegenomen in deze studie van 50 of 75 jaar (oudste OBES 40 à 45 jaar). De ervaring met de huidige systemen geeft weinig reden tot denken dat deze levensduur niet gehaald kan worden, verwacht wordt dat de levensduur zelfs veel langer is. Echter, de maximale levensduur van bodemenergiesystemen is nog weinig onderzocht, wel kan gerefereerd worden aan ervaringen met drinkwaterbronnen. Onderzoek naar oorzaken voor materiaal falen en putverstopping draagt bij aan levensduur verlenging, net als toepassing van maatregelen zoals bovengrondse waterbehandeling of filtering.

### 3. Materialen en grondstoffen verduurzamen

Deze studie laat zien dat voor het ondergronds deel van bodemenergiesystemen, met name de toepassing van PVC en RVS de meest bepalende factoren zijn in het milieuprofiel, gevolgd door HDPE. De initiële verwachting, dat toepassing van circulaire strategieën voor PVC en HDPE de meeste winst kan opleveren, blijkt te kloppen, maar ook RVS hoort bij de materialen die veel kan bijdragen aan verbetering van het milieuprofiel. Voor RVS en ook voor HDPE is hergebruik van materialen een optie. Hergebruik van PVC door verwijdering van de buizen uit de bodem aan het einde van de levensfase, is vanuit oogpunt van bodembescherming (momenteel) geen optie, zoals opgenomen in Protocol SIKB-11001.

Onderzoek naar alternatieven voor PVC of HDPE gebruik, zoals de mogelijkheden voor dunnere wanddiktes of alternatieve materialen (zonder afbreuk te doen aan de levensduur van de systemen), wordt aanbevolen. Het aandeel PVC kan mogelijk worden verkleind door de diepte van OBES te minimaliseren, door wanneer mogelijk voor ondiepe watervoerende pakketten kiezen. Ook zou er om het gewicht per meter PVC te verkleinen onderzoek gedaan kunnen worden of PVC met een dunnere wanddikte, en dus lagere drukklasse, kan worden toegepast. Hoe het totale gewicht van het RVS materiaal verminderd kan worden is op dit moment onbekend. Dit kan mogelijk in gesprek met boorbedrijven verder worden verkend. Daarnaast kan worden gekeken of er PVC op de markt is die duurzamer is dan andere. Ook is het op dit moment onduidelijk of er onderzoek gaande is om de productie van PVC in de toekomst te verduurzamen. Bij verder onderzoek naar verduurzamen van PVC kan samen worden opgetrokken met andere systemen waar vergelijkbare PVC materialen in grote hoeveelheden worden toegepast (bijv. terreinleidingen, drinkwaterputten en gesloten bodemenergiesystemen). Een belangrijke randvoorwaarde bij onderzoek naar alternatieven voor PVC, is de integriteit van de put: als de bronnen eenmaal zijn aangelegd in de bodem, zijn herstelwerkzaamheden niet meer mogelijk.

Naast verduurzaming van PVC, RVS en HDPE, wordt aanbevolen om ook voor andere onderdelen van het bodemenergiesysteem te onderzoeken of alternatieven beschikbaar zijn, en daarmee het ‘laaghangend fruit’ te benutten voor kleine verbeteringen in het milieuprofiel.

### 7.3 Aanbevelingen om LCA-methoden te verbeteren

De huidige LCA-methode brengt al een zeer groot deel van het milieuprofiel in beeld, zoals het materiaalgebruik tijdens aanleg en het energiegebruik tijdens gebruik. Er zijn echter een aantal zaken die op dit moment moeilijk mee te nemen zijn in de gebruikte LCA methodiek. In de discussie is al benoemd dat (grond)waterkwaliteit (nog) geen erkende milieu-impact categorie is binnen LCA-studies (zie ook Van den Brand et al. (2025)). Het verdient aanbeveling om hier nader onderzoek naar te doen, en methoden te ontwikkelen om de benutting van bodem en grondwater in LCA-methodes mee te kunnen nemen. Als deze methodes ontwikkeld zijn, kan de benutting van bodem en grondwater en de toepassing van PVC in de bodem integraal worden gewogen met de meerwaarde van hernieuwbare verwarming en koeling.

### 7.4 Aanbevelingen voor bodemenergie in MPG

Aanbevolen wordt om de resultaten van de LCA-studie in deze verkenning te benutten, en door een erkende LCA-organisatie voor de Nationale Milieu-database verder uit te werken en om te zetten naar MKI-waarden voor categorie 2 kaarten van open bodemenergiesystemen. In vervolg op deze verkenning, wordt aanbevolen om dit ook voor gesloten bodemenergiesystemen te doen. De inventarisatieronde is door Vereniging Warmtepompen en BodemenergieNL geïnitieerd.

Voor bodemenergiesystemen geldt dat het materiaalgebruik van de bronnen verzwarend is voor de MPG-score van gebouwen. Om het milieuprofiel van materialen en grondstoffen van bodemenergie in het perspectief te plaatsen van energieverbruik in de gebruiksfase, wordt aanbevolen om een aantal case-studies uit te werken van het totale bodemenergiesysteem van gebouwen, waarbij MPG-bepaling wordt gecombineerd met energetische analyse in één LCA-studie. Aanbevolen wordt om deze case-studies ook uit te werken met scenario's van andere technieken voor verwarming en koeling, zodat een brede vergelijking kan worden gemaakt. In de bredere maatschappelijke discussie rond bouwnormering, kunnen de resultaten van deze case-studies inzicht bieden in methodes voor integratie van MPG en BENG normering.

Tenslotte wordt aanbevolen, om de resultaten van deze verkenning ook te benutten voor inzicht in het milieuprofiel van andere infrastructuur in de ondergrond, zoals drinkwaterbronnen, peilbuizen en hemelwaterinfiltratieputten.

## 8 Referenties

- Bassi, A., Biganzoli, S., Ferrara, F., Amadei, N., Valente, N., Sala, A., & Ardente, F. (2023). Updated characterisation and normalisation factors for the Environmental Footprint 3.1 method. *JRC130796, Joint Research Center, Editor*.
- Godinaud, J., Loubet, P., Gombert-Courvoisier, S., Pryet, A., Dupuy, A., & Larroque, F. (2024). Life Cycle Assessment of an Aquifer Thermal Energy Storage System: Influence of design parameters and comparison with conventional systems. *Geothermics*, 120, 102996. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2024.102996>
- Moulopoulos, A. (2014). *Life Cycle Assessment of an Aquifer Thermal Energy Storage System-Exploring the environmental performance of shallow subsurface space development*.
- Oele, M., & Dolfing, R. (2019). SimaPro. Retrieved from SimaPro: <https://simapro.com/2019/whats-new-in-simapro-9-0>.
- Sijm, J. (2024). *Verkenning van toekomstige ontwikkelingen en uitdagingen voor een klimaatneutraal elektriciteitssysteem in Nederland, 2030-2050 Achtergrondrapport bij de PBL-studie Trajectverkenning Klimaatneutraal Nederland 2050 (TVKN 2050)*. Retrieved from
- Stemmle, R., Blum, P., Schüppler, S., Fleuchaus, P., Limoges, M., Bayer, P., & Menberg, K. (2021). Environmental impacts of aquifer thermal energy storage (ATES). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111560. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111560>
- Van den Brand, T., Hofman-Caris, R., Hoondert, R., & Zwamborn, M. (2025, 14 augustus 2025). De belofte van circulair water 2: waterkwaliteit krijgt te weinig aandacht in milieu-analyse. *H2O*, 9.

## Bijlage I. Gegevensinventarisatie uit LCA-literatuur

Hieronder zijn de 3 lijsten weergegeven met het materiaal- en energiegebruik van de drie datasets gebruikt uit de literatuur. De lijsten zijn onderverdeeld in dezelfde 4 klassen (Boren & bron, aansluiten (bovengronds), Algemeen/overig en afval). Binnen de 4 klassen zijn echter niet dezelfde gegevens beschikbaar. De ene studie heeft (bewust/onbewust) andere onderdelen meegenomen ten opzichte van de andere studies.

### 1. Godinaud et al. (2024) – materiaal- en grondstoffengebruik van 1 OBES bron

| Boren & bron                    | Naam                       | Type stof/materiaal | Hoeveelheid | Eenheid |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------|---------|
|                                 | Bentonite                  | bentoniet           | 2000        | kg      |
|                                 | Grout                      | grout               | 5500        | kg      |
|                                 | Putbuis                    | chromium staal      | 2256        | kg      |
|                                 | Staal buis                 | staal               | 1250        | kg      |
|                                 | Putkop                     | chromium staal      | 500         | kg      |
|                                 | Cement                     | cement              | 0.2         | m3      |
|                                 | Filter gravel              | gravel              | 9000        | kg      |
|                                 | Diesel voor boorwagen      | diesel              | 2550        | liter   |
|                                 | Diesel voor aggregaat      | diesel              | 700         | liter   |
|                                 | Water voor boren           | water               | 100         | ton     |
|                                 | Water naar riool (afval)   | water               | 2730        | m3      |
| <b>Aansluiten (bovengronds)</b> |                            |                     |             |         |
|                                 | Horizontaal PE leiding     | PE                  | 150         | m       |
|                                 | Elektrische bedrading      | Koper               | 150         | m       |
|                                 | Diesel voor afgraven grond | Diesel              | 35          | liter   |
| <b>Algemeen / overig</b>        |                            |                     |             |         |
|                                 |                            | GW pomp             | 1           | stuk    |
|                                 | HCL voor onderhoud         | HCL (30%)           | 2000        | kg      |
|                                 | Onderhoud afvalwater       | Water               |             |         |

### 2. Stemmler et al. (2021) – materiaal- en grondstoffengebruik van ondergrondse deel van de OBES

| Boren & bron | Naam            | Type stof/materiaal | Hoeveelheid | Eenheid |
|--------------|-----------------|---------------------|-------------|---------|
|              | Bentonite Grout | Activated bentonite | 1256        | kg      |
|              | Putbuis         | chromium staal      | 1170        | kg      |
|              | Staal buis      | staal (reinforcing) | 1518        | kg      |
|              | Putkop          | chromium staal      | 500         | kg      |

|                                         |                                   |                             |        |     |
|-----------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------|-----|
|                                         | Filter gravel                     | gravel                      | 22.9   | ton |
|                                         | Diesel voor boorwagen             | diesel                      | 3.4    | ton |
|                                         | Peilbuizen                        | PVC pipe E                  | 24.2   | kg  |
| <b>Aansluiten (bovengronds)</b>         |                                   |                             |        |     |
|                                         | Horizontaal PE leiding            | (HD)PE pipes E              | 3275   | kg  |
|                                         | bekabeling                        | koper                       | 3525   | kg  |
|                                         |                                   | pvc                         | 525    | kg  |
|                                         |                                   |                             |        |     |
|                                         | Elektrische bedrading (ESP kabel) | Koper                       | 377    | kg  |
|                                         | diesel voor graven putkelder      | diesel                      | 5.6    | kg  |
| <b>Algemeen / overig</b>                |                                   |                             |        |     |
|                                         |                                   |                             |        |     |
|                                         | Grondwater pomp ESP               | chromm staal 18/8           | 147    | kg  |
|                                         | Onderhoud afvalwater              | Water                       |        |     |
|                                         | grondwaterfilter unit             | chromm staal                | 30     | kg  |
|                                         | grondwaterfilter unit             | galvanized steel sheet      | 4      | kg  |
|                                         | geluidisolatie pompkelder         | Polyurethane, flexible foam | 51     | kg  |
|                                         | ladder pompkelder                 | chromm staal                | 37     | kg  |
|                                         | Ventilatiepijp kelder             | chromm staal                | 348.9  | kg  |
|                                         | putkelder cement                  | beton                       | 5.2    | m3  |
|                                         | transport putkelder               | transport                   | 93     | tkm |
| <b>Transport</b>                        |                                   |                             |        |     |
|                                         | transport freight                 | lorry 3.5-7.5 m3, euro 5    | 130.3  | tkm |
|                                         | operation                         | lorry 3.5 - 20t, empty      | 85     | km  |
| <b>transport - well drilling</b>        | transport freight                 | lorry 3.5-7.5 m3, euro 5    | 1950   | tkm |
|                                         | operation                         | lorry 3.5 - 20t, empty      | 45     | km  |
| <b>transport - well piping</b>          | transport freight                 | lorry 16-32 m3, euro 5      | 458.2  | tkm |
|                                         | transport freight                 | lorry >32 m3, euro 5        | 4482.5 | tkm |
|                                         | transport freight                 | lorry 7.5-16 m3, euro 5     | 75.4   | tkm |
|                                         | operation                         | lorry 20-28t                | 46.7   | km  |
|                                         | operation                         | lorry >28t                  | 173.8  | km  |
|                                         | operation                         | lorry 3.5-20t               | 60     | tkm |
| <b>transport - surface construction</b> | transport freight                 | lorry 7.5-16 m3, euro 5     | 1210   | tkm |
|                                         | operation                         | lorry 3.5-20t               | 80.3   | km  |

|                                     |                   |                        |       |     |
|-------------------------------------|-------------------|------------------------|-------|-----|
| transport - subsurface construction | transport freight | lorry 16-32 m3, euro 5 | 268.3 | tkm |
|                                     | transport freight | lorry >32 m3, euro 5   | 202.5 | tkm |
|                                     | operation         | lorry 20-28t           | 20    | km  |
|                                     | operation         | lorry >28t             | 8.3   | km  |
| <b>Afval</b>                        |                   |                        |       |     |
|                                     | HDPE pijp         | HDPE                   | 0.87  | ton |
|                                     | PVC pijp          | PVC                    | 1.96  | ton |
|                                     | afvalwater        | groundwater            | 24000 | m3  |

### 3. Moulopoulos (2014) – materiaal- en energiegebruik van ondergrondse deel van de OBES

| Boren & bron                        | Naam                                   | Type stof/materiaal     | Hoeveelheid | Eenheid |
|-------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------|-------------|---------|
|                                     | Bentonite                              | Bentonite (mikolit 300) | 1.5         | ton     |
|                                     | Clay                                   | Mikolit 00              | 10          | ton     |
|                                     | Putbuis                                | PVC pipe (40 - 315 mm)  | 2           | ton     |
|                                     | Staal buis                             | staal (reinforcing)     | x           | kg      |
|                                     | Putkop                                 | chromium staal          |             | kg      |
|                                     | Cement                                 | cement                  |             | m3      |
|                                     | Filter gravel                          | gravel                  | 20          | ton     |
|                                     | Filter sand                            | sand                    | 11          | ton     |
|                                     | Diesel voor boorwagen                  | diesel                  | 0.298       | ton     |
|                                     | Water naar riool (afval)               | water                   | 2.40E+04    | m3      |
| <b>Aansluiten (bovengronds)</b>     |                                        |                         |             |         |
|                                     | Horizontaal PE leiding                 | (HD)PE pipes E          | 0.87        | ton     |
|                                     | Sealing wells at end of life bentonite | bentonite               | 11.5        | ton     |
| <b>Transport</b>                    |                                        |                         |             |         |
| transport - well drilling           | transport freight                      | ??                      | 165         | tkm     |
| transport - well piping             | transport freight                      | ??                      | 100         | tkm     |
| transport - surface construction    | transport freight                      | ??                      | 43.5        | tkm     |
|                                     |                                        |                         |             |         |
| transport - subsurface construction | transport freight                      | ??                      | 2700        | tkm     |
| <b>Afval</b>                        |                                        |                         |             |         |
|                                     | HDPE pijp                              | HDPE                    | 0.87        | ton     |
|                                     | PVC pijp                               | PVC                     | 1.96        | ton     |
|                                     | afvalwater                             | groundwater             | 24000       | m3      |

## Bijlage II. Bodemenergiesystemen in de MPG

### Milieu Prestatie Gebouwen (MPG)

Bij het bepalen van de milieu-impact van bodemenergiesystemen in deze studie, is zoveel mogelijk aangesloten bij de werkwijze van de Milieu Prestatie Gebouwen (MPG). De onderstaande alinea is ontleend aan de beschrijving van de MPG op de website van RVO.

Bij elke aanvraag voor een omgevingsvergunning van gebouwen is de Milieu Prestatie Gebouwen (MPG) verplicht. De MPG geeft aan wat de milieubelasting is van de materialen die in een gebouw worden toegepast. Het gaat hierbij om nieuwe kantoorgebouwen (groter dan 100 m<sup>2</sup>) en om nieuwbouwwoningen. De MPG is een belangrijke maatstaf voor de duurzaamheid van een gebouw. Hoe lager de MPG, hoe duurzamer het materiaalgebruik. De milieuprestatie van materialen van gebouwen zal een steeds belangrijkere factor worden in de totale milieubelasting van een gebouw.

De milieubelasting van materialen kan worden uitgerekend. Hiervoor wordt een MPG-berekening gebruikt. Om de milieubelasting van een enkel materiaal te bepalen, wordt een LevensCyclusAnalyse (LCA) uitgevoerd. De LCA moet worden uitgevoerd door een gekwalificeerde deskundige. De LCA resulteert in 19 indicatoren voor de milieubelasting van een product. Deze 19 indicatoren worden samengevoegd tot één waarde: de schaduwkosten. De schaduwkosten van een materiaal kunnen gezien worden als de kosten die gemaakt moeten worden om de schade aan het milieu, door het materiaalgebruik, ongedaan te maken.

De Milieu Kosten Indicator (MKI) van een gebouw is de som van de schaduwkosten van alle toegepaste materialen in een gebouw. Hierbij moet ook rekening worden gehouden met de materialen die worden vervangen tijdens de levensduur van het gebouw. Installaties worden bijvoorbeeld een aantal keer gedurende de levensduur van een gebouw vervangen. Materialen die langer mee gaan, hebben niet altijd een lagere milieubelasting. De totale milieubelasting is sterk afhankelijk van bijvoorbeeld toepassing, ontwerp en onderhoud. De totale som van alle schaduwkosten wordt gedeeld door de levensduur en door de bruto vloeroppervlakte (bvo) van een gebouw. De MPG wordt vervolgens uitgedrukt in de schaduwkosten per m<sup>2</sup> bvo per jaar. Voor de levensduur van woningen wordt uitgegaan van 75 jaar en voor kantoorgebouwen 50 jaar.

Het is niet nodig om steeds opnieuw een LCA van hetzelfde product/materiaal uit te voeren. Voor Nederland worden de kenmerken van materialen uit de LCA's verzameld in de Nationale Milieu Database. Deze database wordt beheerd door de Stichting NMD. Een producent of leverancier moet er zelf voor zorgen dat een product in de NMD wordt opgenomen.

(Ontleend aan: [website RVO Berekening MilieuPrestatie Gebouwen](#) | [Wetten en regels gebouwen](#))

## Categorie-2 milieuverklaring bodemenergie

In de Nationale Milieudatabase onderscheiden we drie categorieën milieuverklaringen met milieudata: categorie 1, 2 en 3:

- Categorie 1: Dit zijn getoetste, merkgebonden data. Ze zijn eigendom van de fabrikant.
- Categorie 2: Dit zijn getoetste, branche/sectorgebonden data. Ze zijn eigendom van de branche.
- Categorie 3: Dit zijn ongetoetste, generieke data. Deze categorie 3-data vormen een terugvaloptie voor als er nog geen milieuverklaringen van dit product bestaan. Deze data zijn minder scherp, daarom zit er een ophoogfactor op van 30%.

Bron: [Databases in het kort](https://milieudatabase.nl/nl/nmd-academy/nmd-in-het-kort/databases-in-het-kort/) <https://milieudatabase.nl/nl/nmd-academy/nmd-in-het-kort/databases-in-het-kort/>

## Energieprestatie gebouwen en MPG

In de beschrijving van de MPG op de website van RVO is het volgende opgenomen over energiegebruik in relatie tot de MPG:

Omdat het energiegebruik van gebouwen door scherpere energieprestatie-eisen steeds lager wordt, wordt de MPG van een gebouw steeds belangrijker als maat voor de duurzaamheid. Een belangrijk aandachtspunt is dat maatregelen die gunstig zijn voor de **BENG-indicatoren**, ongunstig kunnen zijn voor de MPG en omgekeerd. Dikkere isolatie of zonnecellen verbeteren bijvoorbeeld de energieprestatie, maar verslechteren de MPG. De milieubelasting van het produceren van een zonnecel is hoog en verhoogt daardoor de MPG. Omdat met een zonnecel elektriciteit wordt geproduceerd, wordt de EP2 (primair fossiel energiegebruik uit de BENG-eisen) lager. Over de totale levensduur van een zonnecel, wordt genoeg energie opgewekt om de milieubelasting van de productie te compenseren.

Eenzelfde redenering geldt voor bodemenergiesystemen: een bodemenergiesysteem resulteert in verhoging van de MPG, maar resulteert in een verlaging van de energieprestatie van het gebouw.

## Bodemenergiesystemen in MPG

Bodemenergiesystemen zijn nog niet opgenomen in de MPG: voor gebouwen waarin een bodemenergiesysteem wordt toegepast, kan nog niet gebruik worden gemaakt van een Categorie-2 verklaring voor bodemenergie. Dit is wel in ontwikkeling:

- De Vereniging Warmtepompen heeft in 2024 Categorie-2 verklaringen opgesteld voor een aantal typen warmtepompen (zie Figuur 8-1)
- De branche is op dit moment bezig met de voorbereiding van Categorie-2 verklaringen voor een aantal categorieën van gesloten bodemenergiesystemen. Op dit moment loopt de gegevensinventarisatie (Tabel 8-1). In de toekomst worden ook verklaringen voor open bodemenergiesystemen beoogd



**Nationale MilieudATABASE**  
HET FUNDAMENT VOOR DUURZAME BOUW

Feedback Actueel

in ▶ 🔍 NL ▼

Home > Milieuprestatie > Database > Milieudata (LCA) > Viewer > Over ons > Downloads > FAQ > NMD Academy

Home > Viewer > Brijn-water warmtepomp, solo, koudemiddel R410a, Ver...

### Categorie 2 Milieuverklaring

#### Brijn-water warmtepomp, solo, koudemiddel R410a, Vereniging Warmtepompen (1,4 - 12 kWth)

Deze gecontroleerde [milieuverklaring](#) #nmd\_95899 voor het bouwproduct Brijn-water warmtepomp, solo, koudemiddel R410a, Vereniging Warmtepompen (1,4 - 12 kWth) is gepubliceerd op 12-6-2024 in de Nationale Milieudatabase. Deze verklaring is opgesteld in opdracht van Vereniging Warmtepompen

[Milieukosten](#) bedragen € 317,104 bij een [levensduur](#) van 17 jaar. De NMD toont voor Categorie 2 data enkel de resulterende milieukosten, berekend volgens de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken. Categorie 2 data is merkongebonden data (merkloos) van groepen van fabrikanten en/of toeleveranciers en branches. De data is getoetst door een onafhankelijke, gekwalificeerde derde partij volgens het NMD-Toetsingsprotocol, met vermelding van representativiteit (representatief voor bijvoorbeeld de Nederlandse markt of een groep van producenten).

**Productnaam** Brijn-water warmtepomp, solo, koudemiddel R410a, Vereniging Warmtepompen (1,4 - 12 kWth)

**Milieuverklaringnummer** #nmd\_95899

**Publicatiedatum** 12-6-2024

Figuur 8-1 Printscreen uit de Nationale Milieudatabase van de Categorie-2 Milieuverklaring van een brijn-water warmtepomp, opgesteld in opdracht van de Vereniging Warmtepompen.

Tabel 8-1 Scenario's van gesloten bodemenergiesystemen (VBWW: verticale bodem warmte wisselaars), waarvoor de branche op dit moment Categorie-II verklaringen voorbereidt.

| Scenario                      | Toepassing in VBWW-veld                                       | Leidingwerk                                                        | Referentiegebouw                     |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Grondgebonden woningen</b> |                                                               |                                                                    |                                      |
| VBWW 175 meter diep           | 8 enkele lussen, watergevuld                                  | Aanname per woning:<br># m graafwerk<br># m afstand tot invoerpunt | 8 woningen S                         |
| VBWW 210 meter diep           | 40 enkele lussen, watergevuld<br>2 enkele lussen, watergevuld |                                                                    | 5x8 woningen S<br>2 woningen M       |
| <b>Gestapelde bouw</b>        |                                                               |                                                                    |                                      |
| VBWW 170 meter diep           | 20 dubbele lussen, watergevuld                                | Aanname per gebouw:<br># m graafwerk<br># verdelers                | woongebouw M met 33 appartementen    |
| VBWW 200 meter diep           | 20 dubbele lussen, watergevuld                                | # m hoofdleiding<br># m in schachten                               | 3x woongebouw M, 3x 33 appartementen |

idem voor glycol,  
andere diepte

# Bijlage III. Aanpak inventarisatie gegevens bij boorbedrijven

## Uitvraag gegevens

De uitvraag is verstuurd in de vorm van een Excel bestand met 3 sheets. De eerste sheet is een overzicht van informatie over het doel van het project en afkadering van de uitvraag en uitleg over hoe de Excel is in te vullen. De tweede sheet betreft de inventarisatielijsten voor de 4 categorieën. De lijsten zijn identiek opgezet en volgen een onderverdeling in:

1. Bron boren en inbouwen en aanvullen
2. Broninstallatie en grondwatercircuit
3. Transport t.b.v. aanleg
4. Instandhouding en beëindiging

De drie sheets uit de Excel zijn hieronder opgenomen. De derde en laatste sheet betreft wat rekenvoorbeelden om de juiste hoeveelheden en gewichten van de materialen te berekenen en te bepalen.

## Het bijgevoegde Excelbestand met de gegevens uitvraag (3 sheets)

### 1: Sheet 00\_informatie en uitleg

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Bodemenergie circulair 2050</b><br><br>Het project bodemenergie circulair brengt de milieu-impact van de aanleg van bodemenergie (OBES en GBES) in kaart door middel van een levenscyclus assessment analyse (LCA).<br>link: <a href="https://tkideltatechnologie.nl/project/bodemenergie-circulair-in-2050/">https://tkideltatechnologie.nl/project/bodemenergie-circulair-in-2050/</a><br><b>Focus</b><br><br>De focus ligt daarbij op het materiaal en energiegebruik voor de aanleg van het systeem. Het bovengrondse energiesysteem en o.a. de warmtepomp wordt dus niet meegenomen in deze analyse.<br><br><b>Doel</b><br><br>Met de resultaten van deze analyse kunnen we inzichtelijk maken welke onderdelen van het aanleggen van OBES en GBES de grootste milieu-impact hebben. In het vervolg van het project wordt gekeken naar oplossingen om deze milieu-impact te verkleinen. |                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Samenvatting project</b><br><br>Bodemenergie is een belangrijke hernieuwbare energiebron in Nederland. Sinds de jaren '90 wordt bodemenergie veelvuldig toegepast en het aantal systemen blijft groeien. Momenteel worden hiervoor veelal kunststoffen in de bodem aangebracht. In dit project wordt onderzocht hoe bodemenergie nog meer circulair kan worden, met als doel om in 2030 een zo circulair mogelijk systeem te realiseren (korte termijn) en in 2050 een volledig circulaire systemen (lange termijn). Hierbij richten we ons met name op het vinden van alternatieven voor de momenteel toegepaste PE en PVC-leidingsystemen in respectievelijk gesloten bodemenergiesystemen (GBES) en open bodemenergiesystemen (OBES). Dit aangezien toepassing van deze materialen naar verwachting op termijn aan banden zal worden gelegd door de Europese commissie. Daarnaast beschouwen we ook alternatieve concepten voor energieopslag in de bodem. De meest kansrijke optie werken we verder uit tot, bij voorkeur tot een proof-of-concept. Met dit project wordt een belangrijke stap gezet om bodemenergie nog duurzamer te maken!<br><br>Meer informatie:<br><a href="https://tkideltatechnologie.nl/project/bodemenergie-circulair-in-2050/">https://tkideltatechnologie.nl/project/bodemenergie-circulair-in-2050/</a><br><br> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Demarcatie</b><br><br>Alle materialen en grondstoffen die nodig zijn voor aanleg, instandhouding en beëindiging van het ondergronds deel van een bodemenergiesysteem tot en met de warmtewisselaar. Dit wordt uitgevraagd voor 4 verschillende categorieën OBES systemen, van klein tot groot (zie kopje categorieën). De bovengrondse installatie (warmtepomp, afgiftesysteem) valt buiten de scope. We gaan er vanuit dat er geen extra technische ruimte hoeft worden gebouwd voor het OBES systeem, materiaal voor technische ruimte zelf niet meenemen (apparatuur en appendages in technische ruimte wel). Ook het gebruik van het systeem (elektriciteitsverbruik bronpompen, geleverde energie door het systeem) valt buiten deze inventarisatie, dit wordt later in het onderzoek meegenomen.                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Uitleg inventarisatielijst (sheet 01)</b><br><b>Onderdeel</b><br><b>Uitleg</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>De gebruikte materialen en grondstoffen aangeven in gewicht of volume eenheden (kg, ton, m3).</b><br><b>Uitleg</b>                                                                                                                                                                  | <b>Categorieën</b><br><b>Omschrijving</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Uitleg</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 1. Bron boren, inbouwen en aanvullen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | De materialen en grondstoffen die nodig zijn en vrijkomen bij het aanleggen van de bronnen. O.a. buismateriaal, aanvulmateriaal, werk- en ontwikkelwater.                                                                                                                              | 1. 30 m3/u recirculatie OBES (monobron of doublet), filterlengte = 20m, 80m diep, bronafstand (optioneel) 115m, instandhouding 75 jaar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Klein OBES recirculatiesysteem, kan zowel een monobron of doubletsysteem zijn. Bij invullen mag gekozen worden voor de meest waarschijnlijke keuze voor een systeem van 30 m3/u. Dit systeem is gebaseerd op de warmte en koudevraag van een grondgeboden 5x8 (40) woningen S energiesysteem. De instandhouding is 75 jaar i.v.m. type woningbouw in BENG |
| 2. Broninstallatie en grondwatercircuit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | De materialen en grondstoffen die nodig zijn en vrij komen bij het inbouwen van de bronnen en de installatie van het grondwatercircuit. O.a. broninstallatie met onderwaterpomp, injectieklep en putkop, putkelder, kabels, leidingwerk en regelinstallatie van het grondwatercircuit. | 2. 50 m3/u OBES doublet, filterlengte=20m, 80m diep, bronafstand 150m, instandhouding 75 jaar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Relatief klein OBES systeem, uitgevoerd als doublet. Dit systeem is gebaseerd op de warmte en koudevraag van een grondgeboden 3x33 appartementen 3x woongebouw M energiesysteem (gestapelde bouw). De instandhouding is 75 jaar i.v.m. type woningbouw in BENG                                                                                            |
| 3. Transport t.b.v. aanleg                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Het aantal transport kilometers en het gewicht van het transport naar locatie ten behoeve van aanleg van het systeem (gemiddeld voor Nederlandse case)                                                                                                                                 | 3. 125 m3/u doublet, filterlengte = 30m, 200m diep, bronafstand 200m, instandhouding 50 jaar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | groot OBES doubletsysteem van 125 m3/u. Gebaseerd op warmte en koudevraag van een combinatiegebouw XL (gestapelde bouw). I.v.m. type gebouw in BENG (utiliteit = 50 jaar)                                                                                                                                                                                 |
| 4. Instandhouding en beëindiging                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | De materialen en grondstoffen die nodig zijn voor instandhouding en beëindiging van het ondergrondssysteem, zoals: regeneratiemiddelen, diesel voor machines en afdichtingsmateriaal                                                                                                   | 4. 250 m3/u doublet, filterlengte=40m, 200m diep, bronafstand 235m, instandhouding 50 jaar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Zeer groot OBES doubletsysteem van 250 m3/u. Gebaseerd op warmte en koudevraag van twee combinatiegebouwen XL (gestapelde bouw). I.v.m. type gebouw in BENG (utiliteit = 50 jaar)                                                                                                                                                                         |
| vragen:<br> <a href="mailto:stijn.beernink@kwrwater.nl">stijn.beernink@kwrwater.nl</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

## 2: Sheet 01\_Inventarisatielijsten OBES – categorie 1

Hieronder is de Excel tabel weergegeven voor de gegevens uitvraag van categorie 1 als voorbeeld. De tabel voor categorie 2, 3 en 4 was identiek en is daarom hier weggelaten.

Graag invullen met rode kleur in roodgekleurde kolommen

| Categorie 1 1. Open recirculatie bodemenergiesysteem 30 m3/u - monobron of doublet met bronafstand 115 meter - 75 jaar instandhouding - 80m diep                                                 |                                         |                         |                     |             |                  |                                                                |                                                                      |                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------|------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Ingevuld door / bedrijfsnaam: A. Janssen / ...                                                                                                                                                   |                                         |                         |                     |             |                  |                                                                |                                                                      |                                |
| Datum: XX-XX-2025                                                                                                                                                                                |                                         |                         |                     |             |                  |                                                                |                                                                      |                                |
| Algemene opmerkingen: ABCDEFG                                                                                                                                                                    |                                         |                         |                     |             |                  |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                 | 1. Bronboren, inbouwen en aanvullen     | Naam                    | Type stof/materiaal | Hoeveelheid | Eenheid          | Berekeningsvoorbeld (sheet 02)?                                | Beschrijvinggebruik                                                  | Opmerkingen door (boor)bedrijf |
|                                                                                                                                                                                                  | Type systeem                            | OBES doublet / monobron |                     | 2           | OBES bronnen     |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Materiaalgebruik per systeem:           |                         |                     |             |                  |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Diameter boorgat(en)                    | Ø ...                   |                     |             | mm               |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Boorspoeling                            | Antisol / ...           |                     |             | kg               |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Filterbuis                              | PVC Ø ...               |                     |             | kg               |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Stijlbuis                               | PVC Ø ...               |                     |             | kg               | JA - 01                                                        | Hoeveelheid meters en diameter ook graag aangeven in opmerkingen     |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Peilbuisen                              | PVC Ø ...               |                     |             | kg               |                                                                | Hoeveelheid meters en diameter ook graag aangeven in opmerkingen     |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Beugels                                 | RVS                     |                     |             | kg               |                                                                | Hoeveelheid meters en diameter ook graag aangeven in opmerkingen     |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Aanslaggrind                            | Grind                   |                     |             | ton              |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Filtergrind                             | Zand                    |                     |             | ton              |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Kiekorrels                              | Mikodit 00 / 300 / ...  |                     |             | ton              |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Aardraad                                | Staal                   |                     |             | kg               |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Mantelbuis blijven                      | RVS / staal             |                     |             | kg               |                                                                | wordt niet standaard meegenomen in analyse, optioneel in te invullen |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | overig gebruik per systeem:             |                         |                     |             |                  |                                                                |                                                                      |                                |
| Gebruik werkwater tijdens boren                                                                                                                                                                  | water                                   |                         |                     | m3          |                  |                                                                |                                                                      |                                |
| Vrijkomend water bij ontwikkelen                                                                                                                                                                 | grondwater                              |                         |                     | m3          |                  |                                                                |                                                                      |                                |
| Afvoer grond                                                                                                                                                                                     | zand/kleiput                            |                         |                     | m3          |                  |                                                                |                                                                      |                                |
| Brandstof voor boorwagen                                                                                                                                                                         | diesel / ...                            |                         |                     | liter       |                  |                                                                |                                                                      |                                |
| Brandstof voor kraanwagen                                                                                                                                                                        | diesel / ...                            |                         |                     | liter       |                  |                                                                |                                                                      |                                |
| Brandstof voor aggregaat                                                                                                                                                                         | diesel / ...                            |                         |                     | liter       |                  |                                                                |                                                                      |                                |
| Chemische producten ontwikkelen                                                                                                                                                                  | HCL (30%) / H2O2 / ...                  |                         |                     | kg          |                  | wordt niet standaard meegenomen in analyse, wel graag invullen |                                                                      |                                |
| Open vraag: als de bron diepte 200m zou zijn i.p.v. 80m, zou het materiaalgebruik dan per meter verschillen, of zou je bijv. andere diameters gebruiken of meer/ander materiaal of...? Antwoord: |                                         |                         |                     |             |                  |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                               | 2. Broninstallatie en grondwatercircuit | Naam                    | Type stof/materiaal | Hoeveelheid | Eenheid          | Berekeningsvoorbeld (sheet 02)?                                | Beschrijvinggebruik                                                  | Opmerkingen                    |
|                                                                                                                                                                                                  | Materiaalgebruik per systeem:           |                         |                     |             |                  |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Onderwater pomp                         | RVS                     |                     |             | kg               | JA - 02                                                        |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Injectiekop                             | RVS                     |                     |             | kg               |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Perisleiding/injectieleiding            | RVS                     |                     |             | kg               | JA - 03                                                        | Hoeveelheid meters en diameter ook graag aangeven in opmerkingen     |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Putkop met appendages                   | RVS                     |                     |             | kg               |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Putkelder                               | Beton                   |                     |             | kg               |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Putketeel                               | Aluminium               |                     |             | kg               |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Appendages in putkelder                 | RVS                     |                     |             | kg               |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Horizontaal leidingwerk                 | HDPE Ø ... /            |                     |             | kg               | JA - 04                                                        | Hoeveelheid meters en diameter ook graag aangeven in opmerkingen     |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Kabels                                  | Kabel                   |                     |             | kg               | JA - 05                                                        |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Leidingwerk in technische ruimte        | RVS                     |                     |             | kg               |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Appendages in technische ruimte         | ...                     |                     |             | kg               |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Warmtewisselaar                         | RVS                     |                     |             | kg               |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Grondwaterfilter unit                   | ...                     |                     |             | kg               |                                                                |                                                                      |                                |
| overig gebruik per systeem:                                                                                                                                                                      |                                         |                         |                     |             |                  |                                                                |                                                                      |                                |
| Brandstof voor kraanwagen                                                                                                                                                                        | diesel / ...                            |                         |                     | liter       |                  |                                                                |                                                                      |                                |
| Brandstof voor graafwerkzaamheden                                                                                                                                                                | diesel / ...                            |                         |                     | kg          |                  |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                               | 3. Transport t.b.v. aanleg              | Naam                    | Type stof/materiaal | Hoeveelheid | Eenheid          | Berekeningsvoorbeld (sheet 02)?                                | Beschrijvinggebruik                                                  | Opmerkingen                    |
|                                                                                                                                                                                                  | Totale afstand materiaalvervoer         |                         |                     |             | km               |                                                                | Graag invullen voor locatie van 'gemiddelde systeem in Nederland'    |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Totale gewicht dat is vervoerd          |                         |                     |             | ton              |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                               | 4. Instandhouding en beëindiging        | Naam                    | Type stof/materiaal | Hoeveelheid | Eenheid          | Berekeningsvoorbeld (sheet 02)?                                | Beschrijvinggebruik                                                  | Opmerkingen                    |
|                                                                                                                                                                                                  | Uitgangspunt: 75 jaar instandhouding    |                         |                     |             |                  |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Vrijkomend water spul, re generatie     | Grondwater              |                     |             | m3 in 75 jaar    |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Chemische producten onderhoud           | HCL (30%) / H2O2        |                     |             | kg in 75 jaar    |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Klein afsluiten putten (end of life)    | Mikodit 00 / 300 / ...  |                     |             | ton              |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Zand afsluiten putten (end of life)     | Mikodit 00 / 300 / ...  |                     |             | ton              |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Brandstof kraanwagen afsluiten          | diesel / ...            |                     |             | liter            |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Vervanging appendages:                  |                         |                     |             |                  |                                                                |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | Vul in ...                              | Type stof/materiaal     | Hoeveelheid         | Eenheid     | Na hoeveel jaar? | Opmerkingen                                                    |                                                                      |                                |
|                                                                                                                                                                                                  | ...                                     |                         |                     |             |                  |                                                                |                                                                      |                                |



## Bijlage IV. Resultaten inventarisatie OBES gegevens boorbedrijven

In deze bijlage zijn de drie ontvangen datasets geanonimiseerd weergegeven en is beschreven hoe uit de drie datasets één representatieve gemiddelde dataset is gecreëerd. Dit is gedaan voor alle vier de categorieën. De drie boorbedrijven worden hier omschreven met boorbedrijf A, boorbedrijf B en boorbedrijf C.

**Categorie 1: Open recirculatie bodemenergiesysteem 30 m<sup>3</sup>/u - monobron of doublet met bronafstand 115 meter - 75 jaar instandhouding - 80m diep**

|                                      |                                     |                     | A           | B           | C           | Final dataset |         |                                                                   |
|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------|-------------------------------------------------------------------|
| 1. Bron boren, inbouwen en aanvullen | Naam                                | Type stof/materiaal | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid   | Eenheid | Beschrijving KWR - hoe verwerkt?                                  |
|                                      | <i>materiaalgebruik per systeem</i> |                     |             |             |             |               |         |                                                                   |
|                                      | Diameter boorgat(en)                |                     | 400         | 500         | 500         | 500           | mm      | 500mm aangehouden want 2 van de 3 500mm, andere 400mm             |
|                                      | Boorspoeling                        | Antisol             |             | 20          | 100         | 60            | kg      | 60 kg, gemiddelde van B en C                                      |
|                                      | Filterbuis                          | PVC                 | 51          | 156         | 168         | 125           | kg      | Gemiddelde van alle 3                                             |
|                                      | Stijgbuis                           | PVC                 | 446         | 1056        | 742         | 748           | kg      | Gemiddelde van alle 3                                             |
|                                      | Peilbuizen                          | PVC                 | 75.6        | 128         | 37.44       | 80            | kg      | Gemiddelde van alle 3                                             |
|                                      | Beugels                             | RVS                 | 25          | 1.6         | 40          | 32.5          | kg      | Gemiddelde van A en C, B: 'pvc ringen', 2 kg, verwaarloosbaar     |
|                                      | Aanvulgrind                         | Grind               | 5           | 21.3        | 19.6        | 15.3          | ton     | Gemiddelde van alle 3                                             |
|                                      | Filtergrind                         | Zand                | 2           | 11.4        | 16.18       | 9.86          | ton     | Gemiddelde van alle 3                                             |
|                                      | Kleikorrels                         | Mikolit 300         | 2           | 5.8         | 7.49        | 5.1           | ton     | Gemiddelde van alle 3                                             |
|                                      | Aarddraad                           | koper/staal         | n.v.t.      | 8           | 20          | 8             | kg      | B: 8 kg massief koper, C 20kg staal                               |
|                                      | Mantelbuis blijven                  | RVS / staal         |             |             |             |               | kg      |                                                                   |
|                                      | <i>overig gebruik per systeem:</i>  |                     |             |             |             |               |         |                                                                   |
|                                      | Gebruik werkwater tijdens boren     | water               | 1000        | 65          | 200         | 422           | m3      | Gemiddelde van alle 3, note: bij A stuk hoger dan bij andere twee |

|                                             |                                  |                        |             |             |             |             |         |                                                                             |
|---------------------------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------|
|                                             | Vrijkomend water bij ontwikkelen | grondwater             | 3000        | 3800        | 3000        | 3267        | m3      | Gemiddelde van alle 3                                                       |
|                                             | Afvoer grond                     | zand/klei/puilen       | 10          | 50.3        | 30          | 33          | ton     | B: in ton, C: zowel in m3 (30) als in ton (15), dus gemiddelde pakken       |
|                                             | Brandstof voor boorwagen         | diesel                 | 576         | 82          | 200         | 286         | liter   | Gemiddelde van alle 3, note: bij B stuk lager ingeschat                     |
|                                             | Brandstof voor kraanwagen        | diesel                 | 600         | 68          | 150         | 273         | liter   | Gemiddelde van alle 3, note: bij B stuk lager ingeschat                     |
|                                             | Brandstof voor aggregaat         | diesel                 | 200         | 12          | 200         | 137         | liter   | Gemiddelde van alle 3, note: bij B stuk lager ingeschat                     |
|                                             |                                  |                        |             |             |             |             |         |                                                                             |
|                                             | Chemische producten ontwikkelen  | HCL (30%) / H2O2 / ... |             |             |             |             | kg      |                                                                             |
|                                             |                                  |                        |             |             |             |             |         |                                                                             |
| 2.<br>Broninstallatie en grondwatercircuits | Naam                             | Type stof/materiaal    | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Eenheid | Beschrijving KWR - hoe vewerkt?                                             |
|                                             | materiaalgebruik per systeem:    |                        |             |             |             |             |         |                                                                             |
|                                             | Onderwaterpomp                   | RVS                    | 40          | 156         | 180         | 125         | kg      | A en C: RVS, B: Zinkvrij brons/RVS                                          |
|                                             | Injectieklep                     | RVS                    | 25          | 36          | 20          | 27          | kg      | Gemiddelde van alle 3                                                       |
|                                             | Persleiding/injectieleiding      | RVS                    | 35          | 174.4       | 105.12      | 105         | kg      | gemiddelde van 3, note: A veel lager                                        |
|                                             | Putkop met appendages            | RVS                    | 100         | 34          | 80          | 71          | kg      | Gemiddelde van alle 3                                                       |
|                                             | Putkelder                        | Beton                  | 3600        | 3850        | 1600        | 3017        | kg      | Gemiddelde van alle 3                                                       |
|                                             | Putdeksel                        | Aluminium              | 200         | 60          | 100         | 120         | kg      | Gemiddelde van alle 3                                                       |
|                                             | Appendages in putkelder          | RVS                    | 250         |             | 20          | 135         | kg      | Gemiddelde van A en C, B geen input                                         |
|                                             | Horizontaal leidingwerk          | HDPE ø... /            | 175         | 292         | 273.75      | 247         | kg      | Gemiddelde van alle 3                                                       |
|                                             | Kabels                           | Kabel (YmVkas)         | 50          | 238.9       | 231.75      | 235         | kg      | Gemiddelde van C (150m) & B (165m) - YmVkas, A te laag dus niet meegenomen. |
|                                             | Leidingwerk in technische ruimte | RVS                    | 300         | 52          | 150         | 167         | kg      | Gemiddelde van alle 3, wel redelijk grote verschillen                       |

|                                  |                                                     |                           |             |             |             |             |         |                                                                                                                          |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                  | Appendages in technische ruimte                     | RVS (drukvat, afsluiters) | 500         | 110         | 30          | 213         | kg      | Gemiddelde van alle 3                                                                                                    |
|                                  | Warmtewisselaar                                     | RVS                       | 600         | 985         | 350         | 645         | kg      | Gemiddelde van alle 3                                                                                                    |
|                                  |                                                     |                           |             | 210         |             |             |         |                                                                                                                          |
|                                  |                                                     |                           |             |             |             |             |         |                                                                                                                          |
|                                  | overig gebruik per systeem:                         |                           |             |             |             |             |         |                                                                                                                          |
|                                  | Brandstof voor kraanwagen                           | diesel / ...              | 300         | 30          | 150         | 160         | liter   | Gemiddelde van alle 3, wel redelijk grote verschillen                                                                    |
|                                  | Brandstof voor graafwerkzaamheden                   | diesel / ...              | 800         | 40          | 100         | 313         | kg      | Gemiddelde van alle 3, wel redelijk grote verschillen                                                                    |
|                                  |                                                     |                           |             |             |             |             |         |                                                                                                                          |
| 3. Transport t.b.v. aanleg       | Naam                                                | Type stof/materiaal       | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Eenheid | Beschrijving KWR - hoe vewerkt?                                                                                          |
|                                  | Totale afstand materiaalvervoer                     |                           | 1000        | 300         | 1000        | 767         | km      | Gemiddelde van alle 3, wel redelijk grote verschillen                                                                    |
|                                  | Totale gewicht dat is vervoerd                      |                           | 140         | 340         | 44.79133    | 175         | ton     | Gemiddelde van alle 3, wel redelijk grote verschillen (één alleen kg van het gebruikte materiaal, niet wagens zelf etc.) |
|                                  |                                                     |                           |             |             |             |             |         |                                                                                                                          |
| 4. Instandhouding en beëindiging | Naam                                                | Type stof/materiaal       | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Eenheid | Beschrijving KWR - hoe vewerkt?                                                                                          |
|                                  | <u><b>Uitgangspunt: 75 jaar instand houding</b></u> |                           |             |             |             |             |         |                                                                                                                          |
|                                  | Vrijkomend water spui, regeneratie                  | Grondwater                | 3333        | 1800        | 2250        | 240         | m3/jaar | Zelf berekent o.b.v. input B & C, alleen spuiwater meegenomen: vuistregel                                                |
|                                  | Chemische producten onderhoud                       | HCL (30%) ? / H2O2        | 700         |             | 2400        | 0           | kg/jaar | 0 voor base case                                                                                                         |
|                                  | Klei afdichten putten (end of life)                 | Mikolit 00 / 300 / ...    | 4           |             | 0.72        | 2.36        | ton     |                                                                                                                          |
|                                  | Zand afdichten putten (end of life)                 | aanvulgrind zand          | 2           |             | 2.74        | 2.37        | ton     |                                                                                                                          |
|                                  | Brandstof kraanwagen afdichten                      | diesel / ...              | 60          |             | 150         | 105         | liter   |                                                                                                                          |
|                                  |                                                     |                           |             |             |             |             |         |                                                                                                                          |
|                                  | <u><b>Vervanging appendages:</b></u>                | Type stof/materiaal       | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Eenheid | Na hoeveel jaar?                                                                                                         |

|  |            |                             |   |     |   |   |         |                                                                                                                          |
|--|------------|-----------------------------|---|-----|---|---|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Vul in ... | pompen (kg RVS, cel E36)    | 0 | 156 | 0 | 6 | kg/jaar | eens per 20 jaar (dus gewicht pomp/20) = kg/jaar                                                                         |
|  |            | Appendages pompputten en TR | 0 | 0   | 0 | 0 | kg/jaar | Aangegeven door B dat dit soms wordt vervangen, maar geen inzicht in hoeveelheden. Voor base case nemen we dit niet mee. |
|  |            | Regeltechniek               | 0 | 0   | 0 | 0 | kg/jaar | Aangegeven door B dat dit soms wordt vervangen, maar geen inzicht in hoeveelheden. Voor base case nemen we dit niet mee. |

Categorie 2: 50 m<sup>3</sup>/u doublet, bronafstand 150m, 75 jaar instandhouding, 80m diep

|                                      |                              |                        | A           | B           | C           | Final dataset |              |                                                        |
|--------------------------------------|------------------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|--------------|--------------------------------------------------------|
| 1. Bron boren, inbouwen en aanvullen | Naam                         | Type stof/materiaal    | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid   | Eenheid      | Beschrijving KWR - hoe vewerkt?                        |
|                                      | Type systeem                 | OBES doublet           |             |             |             | 2             | OBES bronnen |                                                        |
|                                      | materiaalgebruik per systeem |                        |             |             |             |               |              |                                                        |
|                                      | Diameter boorgat(en)         |                        | 800         | 600         | 600         | 600           | mm           |                                                        |
|                                      | Boorspoeling                 | Antisol/Barisol        |             | 20          | 150         | 85            | kg           | Gemiddelde van alle 3                                  |
|                                      | Filterbuis                   | PVC                    | 552         | 195.6       | 260.8       | 336.1         | kg           | Gemiddelde van alle 3                                  |
|                                      | Stijgbuis                    | PVC                    | 1756        | 1016.1      | 927.6       | 1233.2        | kg           | Gemiddelde van alle 3                                  |
|                                      | Peilbuizen                   | PVC                    | 37.8        | 128         | 37.44       | 67.7          | kg           | Gemiddelde van alle 3                                  |
|                                      | Beugels                      | RVS                    | 50          | 1.6         | 40          | 45            | kg           | Gemiddelde van A en C (B: te kleine hoeveelheid PVC..) |
|                                      | Aanvulgrind                  | Grind                  | 16.6        | 30.6        | 14.5        | 20.6          | ton          | Gemiddelde van alle 3                                  |
|                                      | Filtergrind                  | Zand                   | 8.5         | 19.9        | 11.5        | 13.3          | ton          | Gemiddelde van alle 3                                  |
|                                      | Kleikorrels                  | Mikolit 00 / 300 / ... | 31.7        | 5.8         | 5.5         | 14.3          | ton          | Gemiddelde van alle 3                                  |
|                                      | Aarddraad                    | Staal                  | 7           | 8           | 20          | 11.7          | kg           | A en C: RVS, B: massief koper                          |

|                                          |                                  |                        |             |             |             |             |         |                                                      |
|------------------------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|------------------------------------------------------|
|                                          | Mantelbuis blijven               | RVS / staal            |             |             |             |             | kg      |                                                      |
|                                          |                                  |                        |             |             |             |             |         |                                                      |
|                                          | overig gebruik per systeem:      |                        |             |             |             |             |         |                                                      |
|                                          | Gebruik werkwater tijdens boren  | water                  | 1500        | 65          | 250         | 605         | m3      | Gemiddelde van alle 3, B wel een stuk lager..        |
|                                          | Vrijkomend water bij ontwikkelen | grondwater             | 3000        | 4000        | 4000        | 3667        | m3      | Gemiddelde van alle 3, weinig verschil               |
|                                          | Afvoer grond                     | zand/klei/puilen       | 37          | 73          | 45          | 48          | ton     | Gemiddelde van B en C, in ton (A alleen in m3)       |
|                                          | Brandstof voor boorwagen         | diesel / ...           | 576         | 82          | 220         | 293         | liter   | Gemiddelde van alle 3, B wel een stuk lager..        |
|                                          | Brandstof voor kraanwagen        | diesel / ...           | 600         | 68          | 160         | 276         | liter   | Gemiddelde van alle 3, B wel een stuk lager..        |
|                                          | Brandstof voor aggregaat         | diesel / ...           | 200         | 12          | 220         | 144         | liter   | Gemiddelde van alle 3, B wel een stuk lager..        |
|                                          |                                  |                        |             |             |             |             |         |                                                      |
|                                          | Chemische producten ontwikkelen  | HCL (30%) / H2O2 / ... |             |             |             |             | kg      |                                                      |
|                                          |                                  |                        |             |             |             |             |         |                                                      |
| 2. Broninstallatie en grondwatercircuits | Naam                             | Type stof/materiaal    | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Eenheid | Beschrijving gebruik                                 |
|                                          | materiaalgebruik per systeem:    |                        |             |             |             |             |         |                                                      |
|                                          | Onderwaterpomp                   | RVS                    | 160         | 168         | 200         | 176         | kg      | Alle 3 gemiddeld, B: zinkvrij brons/RVS, A en C: RVS |
|                                          | Injectieklep                     | RVS                    | 40          | 50          | 30          | 40          | kg      | Alle 3 gemiddeld                                     |
|                                          | Persleiding/injectieleiding      | RVS                    | 45          | 284.46      | 133.56      | 154         | kg      | Alle 3 gemiddeld                                     |
|                                          | Putkop met appendages            | RVS                    | 160         | 39          | 80          | 93          |         | Alle 3 gemiddeld                                     |
|                                          | Putkelder                        | Beton                  | 2400        | 7700        | 1600        | 3900        | kg      | Alle 3 gemiddeld                                     |
|                                          | Putdeksel                        | Aluminium              | 50          | 120         | 100         | 90          | kg      | Alle 3 gemiddeld                                     |
|                                          | Appendages in putkelder          | RVS                    | 300         |             | 20          | 160         | kg      | A en C, bij B geen data                              |
|                                          | Horizontaal leidingwerk          | HDPE ø... /            |             | 486         | 446.4       | 466         | kg      | Alle 3 gemiddeld                                     |
|                                          | Kabels                           | Kabel                  | 430         | 332.12      | 321.9       | 361         | kg      | Alle 3 gemiddeld                                     |
|                                          | Leidingwerk in technische ruimte | RVS                    | 400         | 67.6        | 190.5821918 | 219         | kg      | Alle 3 gemiddeld                                     |
|                                          | Appendages in technische ruimte  | ...                    | 600         | 64          | 38.11643836 | 234         | kg      | Alle 3 gemiddeld                                     |
|                                          | Warmtewisselaar                  | RVS                    | 1730        | 1082        | 444.6917808 | 1086        | kg      | Alle 3 gemiddeld                                     |
|                                          |                                  |                        |             |             |             |             |         |                                                      |

|                                  |                                       |                             |             |             |             |             |               |                                                                                                                          |
|----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                  | overig gebruik per systeem:           |                             |             |             |             |             |               |                                                                                                                          |
|                                  | Brandstof voor kraanwagen             | diesel / ...                | 400         | 30          | 150         | 193         | liter         | Alle 3 gemiddeld, A wel relatief veel                                                                                    |
|                                  | Brandstof voor graafwerkzaamheden     | diesel / ...                | 1152        | 40          | 100         | 431         | liter         | Alle 3 gemiddeld, A wel relatief veel                                                                                    |
|                                  |                                       |                             |             |             |             |             |               |                                                                                                                          |
| 3. Transport t.b.v. aanleg       | Naam                                  | Type stof/materiaal         | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Eenheid       | Beschrijving gebruik                                                                                                     |
|                                  | Totale afstand materiaalvervoer       |                             | 1000        | 300         | 1000        | 767         | km            | Alle 3 gemiddeld                                                                                                         |
|                                  | Totale gewicht dat is vervoerd        |                             | 160         | 360         | 53          | 191         | ton           | Alle 3 gemiddeld                                                                                                         |
|                                  |                                       |                             |             |             |             |             |               |                                                                                                                          |
| 4. Instandhouding en beëindiging | Naam                                  | Type stof/materiaal         | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Eenheid       | Beschrijving gebruik                                                                                                     |
|                                  | Uitgangspunt: 75 jaar instand houding |                             |             |             |             |             |               |                                                                                                                          |
|                                  | Vrijkomend water spui, regeneratie    | Grondwater                  | 3493        | 3000        | 3750        | 400         | m3 in 75 jaar | Zelf berekent o.b.v. input B & C, alleen spuiwater meegenomen: vuistregel                                                |
|                                  | Chemische producten onderhoud         | HCL (30%) ? / H2O2          | 1400        |             | 2400        | 0           | kg in 75 jaar | 0 voor base case                                                                                                         |
|                                  | Klei afdichten putten (end of life)   | Mikolit 00 / 300 / ...      | 8           |             | 0.8         | 4.4         | ton           |                                                                                                                          |
|                                  | Zand afdichten putten (end of life)   | aanvulgrind zand            | 6           |             | 4.3         | 5.15        | ton           |                                                                                                                          |
|                                  | Brandstof kraanwagen afdichten        | diesel / ...                | 60          |             | 150         | 105         | liter         |                                                                                                                          |
|                                  |                                       |                             |             |             |             |             |               |                                                                                                                          |
|                                  | Vervanging appendages:                | Type stof/materiaal         | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Eenheid       | Na hoeveel jaar?                                                                                                         |
|                                  | Vul in ...                            | pompen (kg RVS, cel E36)    | 0           | 168         | 0           | 9           | kg/jaar       | eens per 20 jaar (dus gewicht pomp/20) = kg/jaar                                                                         |
|                                  |                                       | Appendages pompputten en TR | 0           | 0           | 0           | 0           | kg/jaar       | Aangegeven door B dat dit soms wordt vervangen, maar geen inzicht in hoeveelheden. Voor base case nemen we dit niet mee. |
|                                  |                                       | Regeltechniek               | 0           | 0           | 0           | 0           | kg/jaar       | Aangegeven door B dat dit soms wordt vervangen, maar geen inzicht in hoeveelheden. Voor base case nemen we dit niet mee. |

Categorie 3: 125 m<sup>3</sup>/u, bronaafstand 200m, 50 jaar instandhouding, 200m diep

|                                             |                                     |                     | A           | B           | C           | Final dataset |              |                                                   |
|---------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|--------------|---------------------------------------------------|
| <b>1. Bron boren, inbouwen en aanvullen</b> | <b>Naam</b>                         | Type stof/materiaal | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid   | Eenheden     | Beschrijving KWR - hoe vewerkt?                   |
|                                             | <b>Type systeem</b>                 | OBES doublet        |             |             |             | 2             | OBES bronnen |                                                   |
|                                             | <b>materiaalgebruik per systeem</b> |                     |             |             |             |               |              |                                                   |
|                                             | <b>Diameter boorgat(en)</b>         | Ø                   | 700 & 500   | 700         | 700         | 700           | mm           |                                                   |
|                                             | <b>Boorspoeling</b>                 |                     |             | 60          | 250         | 155           | kg           | Alleen data van B & C                             |
|                                             | <b>Filterbuis</b>                   | PVC                 | 554         | 710.5       | 609         | 625           | kg           | Alle 3 gemiddeld                                  |
|                                             | <b>Stijgbuis</b>                    | PVC                 | 1976        | 4344.5      | 4081        | 3467          | kg           | Alle 3 gemiddeld, A relatief laag                 |
|                                             | <b>Peilbuizen</b>                   | PVC                 | 105         | 394.2       | 89.44       | 196           | kg           | Alle 3 gemiddeld, B relatief hoog                 |
|                                             | <b>Beugels</b>                      | RVS                 | 120         | 14          | 80          | 100           | kg           | Alleen A en C, B = PVC beugels                    |
|                                             | <b>Aanvulgrind</b>                  | Grind               | 51          | 100         | 75          | 75            | ton          | Alle 3 gemiddeld, A relatief laag                 |
|                                             | <b>Filtergrind</b>                  | Zand                | 25          | 35          | 20.6        | 27            | ton          | Alle 3 gemiddeld                                  |
|                                             | <b>Kleikorrels</b>                  | Mikolit 00          | 18          | 18          | 11.2        | 16            | ton          | Alle 3 gemiddeld                                  |
|                                             | <b>Aarddraad</b>                    | Staal               | 10          | 8           | 20          | 13            | kg           | Alle 3 gemiddeld, A en C = RVS, B = massief koper |
|                                             | <b>Mantelbuis blijven</b>           | RVS / staal         |             |             |             |               | kg           |                                                   |

|                                                |                                         |                        |             |             |             |             |          |                                                 |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------------------------------------------|
|                                                |                                         |                        |             |             |             |             |          |                                                 |
|                                                | <b>overig gebruik per systeem:</b>      |                        |             |             |             |             |          |                                                 |
|                                                | <b>Gebruik werkwater tijdens boren</b>  | water                  | 1000        | 140         | 300         | 480         | m3       | Alle 3 gemiddeld, A wel relatief hoog (1000)    |
|                                                | <b>Vrijkomend water bij ontwikkelen</b> | grondwater             | 5000        | 6800        | 6000        | 5933        | m3       | Alle 3 gemiddeld                                |
|                                                | <b>Afvoer grond</b>                     | zand/klei/puilen       | 70          | 196         | 77          | 117         | ton      | Gemiddelde van B & C, B relatief hoog (196 ton) |
|                                                | <b>Brandstof voor boorwagen</b>         | diesel / ...           | 576         | 122         | 440         | 379         | liter    | Alle 3 gemiddeld, B relatief laag               |
|                                                | <b>Brandstof voor kraanwagen</b>        | diesel / ...           | 600         | 80          | 340         | 340         | liter    | Alle 3 gemiddeld, B relatief laag               |
|                                                | <b>Brandstof voor aggregaat</b>         | diesel / ...           | 200         | 18          | 380         | 199         | liter    | Alle 3 gemiddeld, B relatief laag               |
|                                                |                                         |                        |             |             |             |             |          |                                                 |
|                                                | <b>Chemische producten ontwikkelen</b>  | HCL (30%) / H2O2 / ... |             |             |             |             | kg       |                                                 |
|                                                |                                         |                        |             |             |             |             |          |                                                 |
| <b>2. Broninstallatie en grondwatercircuit</b> | <b>4</b>                                | Type stof/materiaal    | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Eenhheid | Beschrijving KWR - hoe vewerkt?                 |
|                                                | <b>materiaalgebruik per systeem:</b>    |                        |             |             |             |             |          |                                                 |
|                                                | <b>Onderwaterpomp</b>                   | RVS                    | 100         | 242         | 300         | 214         | kg       | Alle 3 gemiddeld, A en C = RVS, B =             |

|  |                                        |              |      |       |        |      |       |                                                                            |
|--|----------------------------------------|--------------|------|-------|--------|------|-------|----------------------------------------------------------------------------|
|  |                                        |              |      |       |        |      |       | Zinkvrij<br>brons/RVS                                                      |
|  | Injectieklep                           | RVS          | 95   | 138   | 40     | 91   | kg    | Alle 3<br>gemiddeld                                                        |
|  | Persleiding/injectie<br>leiding        | RVS          | 50   | 402   | 202.32 | 218  | kg    | Alle 3<br>gemiddeld<br>, A relatief<br>laag                                |
|  | Putkop met<br>appendages               | RVS          | 240  | 156   | 100    | 165  | kg    | Alle 3<br>gemiddeld                                                        |
|  | Putkelder                              | Beton        | 3600 | 7700  | 1600   | 4300 | kg    | Alle 3<br>gemiddeld<br>, B relatief<br>laag                                |
|  | Putdeksel                              | Aluminium    | 100  | 120   | 100    | 107  | kg    | Alle 3<br>gemiddeld                                                        |
|  | Appendages in<br>putkelder             | RVS          | 300  |       | 30     | 165  | kg    | gemiddeld<br>e van A en<br>C, B = leeg                                     |
|  | Horizontaal<br>leidingwerk             | HDPE ø... /  | 420  | 1564  | 960    | 981  | kg    | Alle 3<br>gemiddeld<br>, A relatief<br>laag, B<br>relatief<br>hoog         |
|  | Kabels                                 | Kabel        | 400  | 758.4 | 679    | 613  | kg    | Alle 3<br>gemiddeld                                                        |
|  | Leidingwerk in<br>technische ruimte    | RVS          | 400  | 158   | 354.5  | 304  | kg    | Alle 3<br>gemiddeld                                                        |
|  | Appendages in<br>technische ruimte     | RVS?         | 600  | 83    | 70.9   | 251  | kg    | Alle 3<br>gemiddeld                                                        |
|  | Warmtewisselaar                        | RVS          | 4000 | 1496  | 827.1  | 2108 | kg    | B & C<br>gemiddeld<br>, A<br>uitgelaten<br>(want zeer<br>hoog,<br>4000 kg) |
|  |                                        |              |      | 256   |        |      |       |                                                                            |
|  |                                        |              |      |       |        |      |       |                                                                            |
|  | <i>overig gebruik per<br/>systeem:</i> |              |      |       |        |      |       |                                                                            |
|  | Brandstof voor<br>kraanwagen           | diesel / ... | 600  | 60    | 160    | 110  | liter | B & C<br>gemiddeld<br>, A<br>uitgelaten<br>(want zeer                      |

|                                  |                                                    |                        |             |             |             |             |               |                                                                           |
|----------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------|
|                                  |                                                    |                        |             |             |             |             |               | hoog,<br>4000 kg)                                                         |
|                                  | Brandstof voor graafwerkzaamheden                  | diesel / ...           | 500         | 105         | 110         | 108         | liter         | B & C gemiddeld , A uitgelaten (want zeer hoog, 4000 kg)                  |
|                                  |                                                    |                        |             |             |             |             |               |                                                                           |
| 3. Transport t.b.v. aanleg       | Naam                                               | Type stof/materiaal    | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Eenhheid      | Beschrijving KWR - hoe vwerkt?                                            |
|                                  | Totale afstand materiaalvervoer                    |                        | 1000        | 300         | 1200        | 750         | km            | Alle 3 gemiddeld                                                          |
|                                  | Totale gewicht dat is vervoerd                     |                        | 270         | 580         | 75          | 327         | ton           | Alle 3 gemiddeld                                                          |
|                                  |                                                    |                        |             |             |             |             |               |                                                                           |
| 4. Instandhouding en beëindiging | Naam                                               | Type stof/materiaal    | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Eenhheid      | Beschrijving KWR - hoe vwerkt?                                            |
|                                  | <b><u>Uitgangspunt: 50 jaar instandhouding</u></b> |                        |             |             |             |             |               |                                                                           |
|                                  | Vrijkomend water spui, regeneratie                 | Grondwater             | 7300        | 7500        | 6250        | 1000        | m3 per jaar   | Zelf berekent o.b.v. input N & H, alleen spuiwater meegenomen: vuistregel |
|                                  | Chemische producten onderhoud                      | HCL (30%) ? / H2O2     | 1500        |             | 3600        | 0           | kg in 50 jaar | 0 voor base case                                                          |
|                                  | Klei afdichten putten (end of life)                | Mikolit 00 / 300 / ... | 6           |             | 2.292       | 4.1         | ton           |                                                                           |
|                                  | Zand afdichten putten (end of life)                | aanvulgrind zand       | 6           |             | 16.18       | 11.1        | ton           |                                                                           |
|                                  | Brandstof kraanwagen afdichten                     | diesel / ...           | 60          |             | 200         | 130         | liter         |                                                                           |
|                                  |                                                    |                        |             |             |             |             |               |                                                                           |

|  | <b><u>Vervanging<br/>appendages:</u></b> | Type<br>stof/materiaal         | Hoeveel<br>heid | Hoeveel<br>heid | Hoeveel<br>heid | Hoeveel<br>heid | Eenh<br>eid | Na<br>hoeveel<br>jaar?                                                                                                                                            |
|--|------------------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Vul in ...                               | pompen (kg RVS, cel E36)       |                 | 242             |                 | 11              | kg/jaar     | eens per<br>20 jaar<br>(dus<br>gewicht<br>pomp/20)<br>= kg/jaar                                                                                                   |
|  |                                          | Appendages pompputten<br>en TR |                 |                 |                 | 0               | kg/jaar     | Aangegeven door B<br>dat dit<br>soms<br>wordt<br>vervangen<br>, maar<br>geen<br>inzicht in<br>hoeveelhe<br>den. Voor<br>base case<br>nemen we<br>dit niet<br>mee. |
|  |                                          | Regeltechniek                  |                 |                 |                 | 0               | kg/jaar     | Aangegeven door B<br>dat dit<br>soms<br>wordt<br>vervangen<br>, maar<br>geen<br>inzicht in<br>hoeveelhe<br>den. Voor<br>base case<br>nemen we<br>dit niet<br>mee. |

Categorie 4: 250 m<sup>3</sup>/u, bronaafstand 235m, 50 jaar instandhouding, 200m diep

|                                      |                                  |                        | A           | B           | C           | Final dataset |              |                                         |
|--------------------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|--------------|-----------------------------------------|
| 1. Bron boren, inbouwen en aanvullen | Naam                             | Type stof/materiaal    | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid   | Eenheden     | Beschrijving KWR - hoe vewerkt?         |
|                                      | Type systeem                     | OBES doublet           |             |             |             | 2             | OBES bronnen |                                         |
|                                      | materiaalgebruik per systeem     |                        |             |             |             |               |              |                                         |
|                                      | Diameter boorgat(en)             |                        | 800 & 700   | 800         | 700         | 800           | mm           |                                         |
|                                      | Boorspoeling                     | Antisol/Ba risol       | 40          | 120         | 250         | 137           | kg           | Gemiddeld alle 3                        |
|                                      | Filterbuis                       | PVC                    | 1490        | 1824.3      | 609         | 1535          | kg           | Gemiddeld alle 3                        |
|                                      | Stijgbuis                        | PVC                    | 4267        | 6398        | 4081        | 5406          | kg           | Gemiddeld alle 3                        |
|                                      | Peilbuizen                       | PVC                    | 90          | 383.4       | 89.44       | 186           | kg           | Gemiddeld alle 3                        |
|                                      | Beugels                          | RVS                    | 120         | 40          | 80          | 100           | kg           | A en C, B = PVC en klein                |
|                                      | Aanvulgrind                      | Grind                  | 72          | 105         | 75          | 89            | ton          | Gemiddeld alle 3                        |
|                                      | Filtergrind                      | Zand                   | 41          | 65          | 20.6        | 47            | ton          | Gemiddeld alle 3                        |
|                                      | Kleikorrels                      | Mikolit 00 / 300 / ... | 35          | 42          | 11.2        | 31            | ton          | Gemiddeld alle 3                        |
|                                      | Aarddraad                        | Staal                  | n.v.t.      | 8           | 20          | 14            | kg           | B en C, A geen input ("nvt"..?)         |
|                                      | Mantelbuis blijven               | RVS / staal            |             |             |             |               | kg           |                                         |
|                                      |                                  |                        |             |             |             |               |              |                                         |
|                                      | overig gebruik per systeem:      |                        |             |             |             |               |              |                                         |
|                                      | Gebruik werkwater tijdens boren  | water                  | 2000        | 260         | 300         | 853           | m3           | Gemiddeld alle 3, A wel relatief hoog.. |
|                                      | Vrijkomend water bij ontwikkelen | grondwater             | 14000       | 12000       | 6000        | 11333         | m3           | Gemiddeld alle 3                        |
|                                      | Afvoer grond                     | zand/klei/puin         | 100         | 265         | 77          | 183           | ton          | B en C, A alleen in                     |

|                                            |                                      |                        |             |             |             |             |          |                                                         |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------------------------------------------------------|
|                                            |                                      |                        |             |             |             |             |          | m3 (dus niet meegenomen)                                |
|                                            | Brandstof voor boorwagen             | diesel                 | 576         | 160         | 440         | 445         | liter    | Gemiddeld alle 3, B relatief laag                       |
|                                            | Brandstof voor kraanwagen            | diesel                 | 600         | 90          | 340         | 357         | liter    | Gemiddeld alle 3, B relatief laag                       |
|                                            | Brandstof voor aggregaat             | diesel                 | 200         | 26          | 380         | 202         | liter    | Gemiddeld alle 3, B relatief laag                       |
|                                            |                                      |                        |             |             |             |             |          |                                                         |
|                                            | Chemische producten ontwikkelen      | HCL (30%) / H2O2 / ... |             |             |             |             | kg       |                                                         |
|                                            |                                      |                        |             |             |             |             |          |                                                         |
| 2. Broninstallatie en grondwatercirculatie | Naam                                 | Type stof/materiaal    | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Eenheden | Beschrijving KWR - hoe vewerkt?                         |
|                                            | <i>materiaalgebruik per systeem:</i> |                        |             |             |             |             |          |                                                         |
|                                            | Onderwaterpomp                       | RVS                    | 500         | 502         | 300         | 467         | kg       | Gemiddeld alle 3, A en C = RVS, B = zinkvrije koper/RVS |
|                                            | Injectieklep                         | RVS                    | 80          | 138         | 40          | 93          | kg       | Gemiddeld alle 3, B relatief laag                       |
|                                            | Persleiding/injectieleiding          | RVS                    | 70          | 932         | 202.32      | 434         | kg       | Gemiddeld alle 3, A relatief laag                       |
|                                            | Putkop met appendages                | RVS                    | 300         | 172         | 100         | 197         | kg       | Gemiddeld alle 3                                        |
|                                            | Putkelder                            | Beton                  | 3000        | 7700        | 1600        | 4100        | kg       | Gemiddeld alle 3, B                                     |

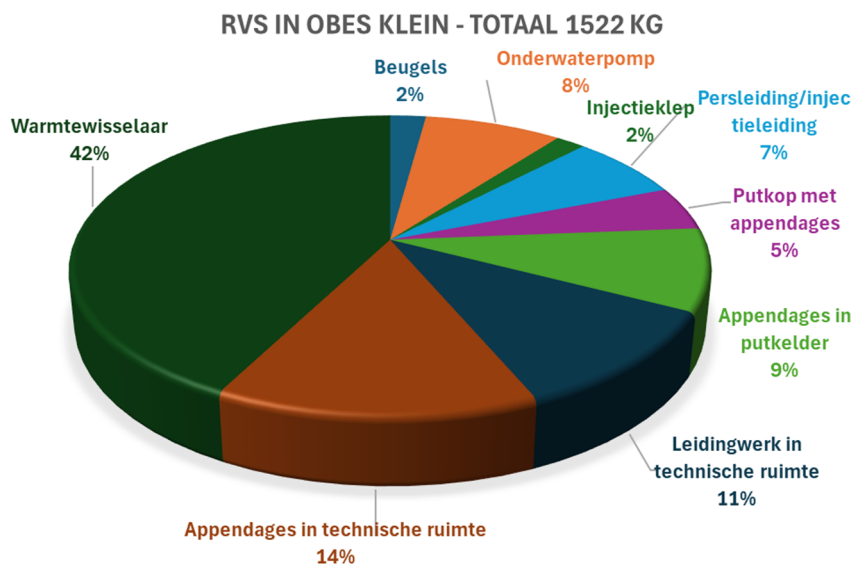
|                            |                                    |                     |             |             |             |             |          |                                                      |
|----------------------------|------------------------------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|------------------------------------------------------|
|                            |                                    |                     |             |             |             |             |          | relatief<br>hoog, C<br>relatief<br>laag              |
|                            | Putdeksel                          | Aluminium           | 120         | 120         | 100         | 113         | kg       | Gemiddeld alle 3                                     |
|                            | Appendages in putkelder            | RVS                 | 400         |             | 30          | 220         | kg       | Gemiddeld A en C: groot verschil (400 en 40), B=leeg |
|                            | Horizontaal leidingwerk            | HDPE                | 9000        | 2896.3      | 960         | 2808        | kg       | Gemiddeld alle B&C, A relatief hoog                  |
|                            | Kabels                             | Kabel               | 550         | 992.5       | 679         | 788         | kg       | Gemiddeld alle 3                                     |
|                            | Leidingwerk in technische ruimte   | RVS                 | 500         | 781.3       | 354         | 570         | kg       | Gemiddeld alle 3                                     |
|                            | Appendages in technische ruimte    | ...                 | 600         | 234         | 71          | 307         | kg       | Gemiddeld alle 3                                     |
|                            | Warmtewisselaar                    | RVS                 | 4500        | 2411        | 827         | 1705        | kg       | Gemiddeld B en C, (A heel hoog dus weggelaten)       |
|                            |                                    |                     |             |             |             |             |          |                                                      |
|                            | <b>overig gebruik per systeem:</b> |                     |             |             |             |             |          |                                                      |
|                            | Brandstof voor kraanwagen          | diesel / ...        | 600         |             | 160         | 380         | liter    | Gemiddeld A en C, (want B leeg)                      |
|                            | Brandstof voor graafwerkzaamheden  | diesel / ...        | 500         |             | 110         | 310         | kg       | Gemiddeld A en C, (want B leeg)                      |
|                            |                                    |                     |             |             |             |             |          |                                                      |
| 3. Transport t.b.v. aanleg | Naam                               | Type stof/materiaal | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Eenheden | Beschrijving KWR - hoe vewerkt?                      |
|                            | Totale afstand materiaalvervoer    |                     | 1000        | 300         | 1200        | 900         | km       | Gemiddeld alle 3                                     |

|                                           |                                                    |                             |             |             |             |             |               |                                                                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
|                                           | <b>Totale gewicht dat is vervoerd</b>              |                             | 320         | 860         | 74.69980726 | 440         | ton           | Gemiddeld alle 3                                                                       |
|                                           |                                                    |                             |             |             |             |             |               |                                                                                        |
| <b>4. Instandhoudingen en beëindiging</b> | <b>Naam</b>                                        | Type stof/materiaal         | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelh    | Hoeveelheid | Eenh          | Beschrijving KWR - hoe vewerkt?                                                        |
|                                           | <b><u>Uitgangspunt: 50 jaar instandhouding</u></b> |                             |             |             |             |             |               |                                                                                        |
|                                           | <b>Vrijkomend water spui, regeneratie</b>          | Grondwater                  | 15800       | 15000       | 6250        | 2000        | m3 in 50 jaar | Zelf berekent o.b.v. input B & C, alleen spuiwater meegenomen: vuistregel              |
|                                           | <b>Chemische producten onderhoud</b>               | HCL (30%) ? / H2O2          | 2400        |             | 3600        | 0           | kg in 50 jaar | 0 voor base case                                                                       |
|                                           | <b>Klei afdichten putten (end of life)</b>         | Mikolit 00 / 300 / ...      | 30          |             | 2.292       | 16.6        | ton           |                                                                                        |
|                                           | <b>Zand afdichten putten (end of life)</b>         | aanvulgrind zand            | 12          |             | 16.18       | 18.0        | ton           |                                                                                        |
|                                           | <b>Brandstof kraanwagen afdichten</b>              | diesel                      | 60          |             | 200         | 155         | liter         |                                                                                        |
|                                           |                                                    |                             |             |             |             |             |               |                                                                                        |
|                                           | <b><u>Vervanging appendages:</u></b>               | Type stof/materiaal         | Hoeveelheid | Hoeveelheid | Hoeveelh    | Hoeveelheid | Eenh          | Na hoeveel jaar?                                                                       |
|                                           | <b>Vul in ...</b>                                  | pompen (kg RVS, cel E36)    |             | 502         |             | 23          | kg/jaar       | eens per 20 jaar (dus gewicht pomp/20) = kg/jaar                                       |
|                                           |                                                    | Appendages pompputten en TR |             |             |             | 0           | kg/jaar       | Aangegeven door B dat dit soms wordt vervangen, maar geen inzicht in hoeveelheid. Voor |

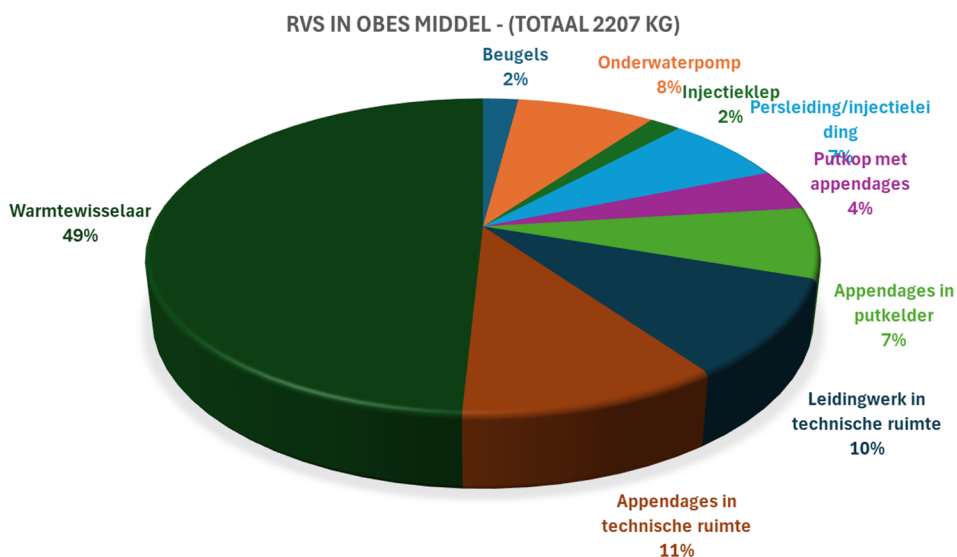
|  |  |               |  |  |  |   |         |                                                                                                                          |
|--|--|---------------|--|--|--|---|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |               |  |  |  |   |         | base case nemen we dit niet mee.                                                                                         |
|  |  | Regeltechniek |  |  |  | 0 | kg/jaar | Aangegeven door B dat dit soms wordt vervangen, maar geen inzicht in hoeveelheden. Voor base case nemen we dit niet mee. |

## Bijlage V. Aanvullende resultaten LCA

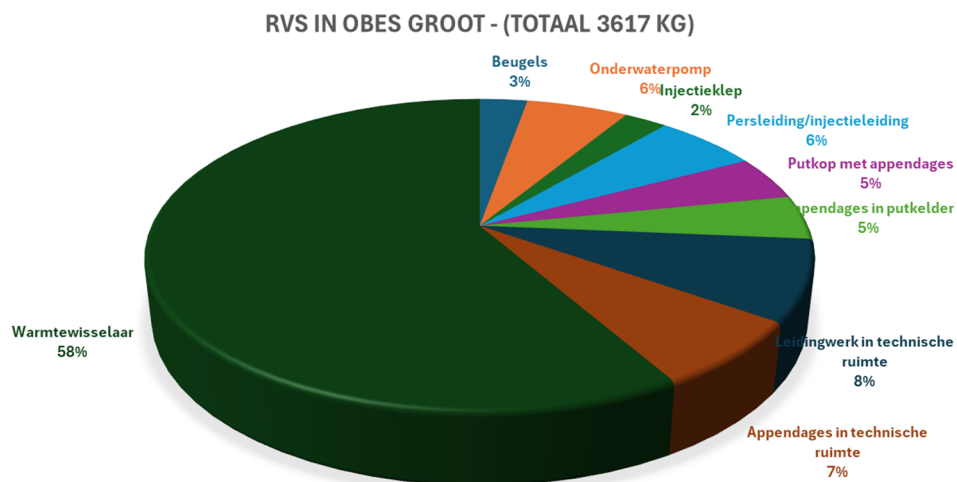
RVS gebruik (kg) in OBES systeem – categorie 1 (30 m<sup>3</sup>/u, 80m diep)



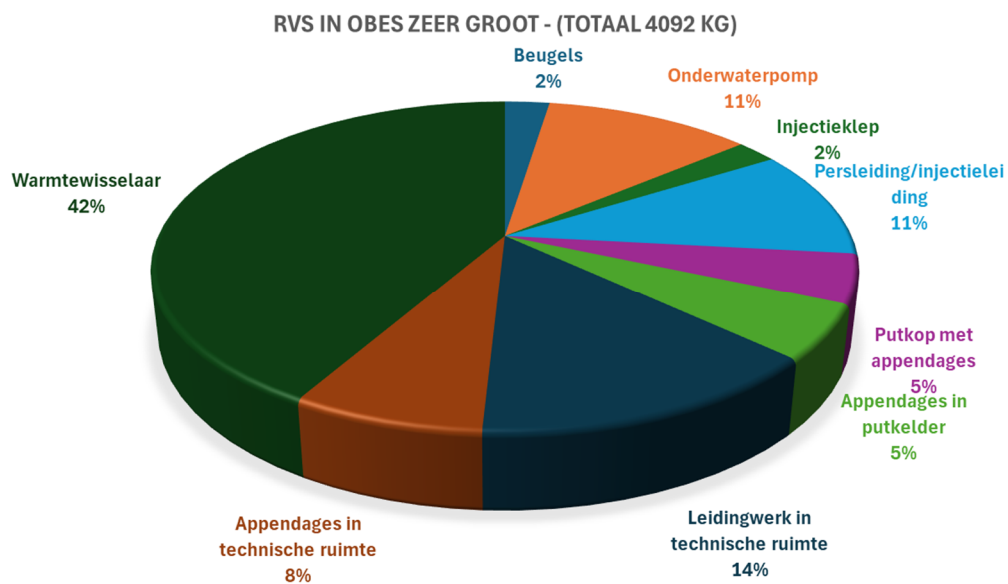
RVS gebruik (kg) in OBES systeem – categorie 2 (50 m<sup>3</sup>/u, 80m diep)



RVS gebruik (kg) in OBES systeem – categorie 3 (125 m<sup>3</sup>/u, 200m diep)



RVS gebruik (kg) in OBES systeem – categorie 4 (250 m<sup>3</sup>/u, 200m diep)



Milieu-impact per milieu-impactcategorie voor categorie 1 t/m 4, uitgedrukt in single point (Pt).

