LCA-evaluatie verwerkingsalternatieven productiewater Schoonebeek

LCA uitgevoerd als onderdeel van de toets conform CE-afwegingskader

CE Delft

Committed to the Environment

LCA-evaluatie verwerkingsalternatieven productiewater Schoonebeek

LCA uitgevoerd als onderdeel van de toets conform CE-afwegingskader

Dit rapport is geschreven door:
Harry Croezen
Maartje Sevenster

CE Delft (Delft) en Sevenster Environmental (Canberra), december 2016

Publicatienummer: 16.3H213.126

Aardoliewinning / Procestechnologie / LCA / Bodeminjectie / Water / Milieubelasting / Analyse
VT: Alternatieven / Vergelijking

Opdrachtgever: Royal HaskoningDHV.

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Harry Croezen.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 35 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

	Samenvatting	**4**
1	**Inleiding**	**7**
1.1	Voorafgaand traject	7
1.2	Te onderzoeken varianten in Fase 2	8
1.3	Uitgevoerde werkzaamheden	8
2	**Huidige situatie: olieproductie en waterinjectie**	**10**
2.1	Olieproductie	10
2.2	Productiewater	10
2.3	Huidige verwijderingsroute	13
3	**Beschouwde alternatieve routes**	**15**
3.1	Beschouwde alternatieve routes op hoofdlijnen	15
3.2	Vast zout – zoutkristallisatie	17
3.3	Vast zout – Salttech-proces	19
3.4	Vast zout – TU Delft-proces	22
3.5	Waterinjectie Twente en Drenthe	25
3.6	Vergelijken op basis van verbruiken en reststromen	26
4	**Milieuthema scores en weging**	**28**
4.1	Inleiding	28
4.2	Alternatief 1: zuivering	28
4.3	Alternatief 4: injectie	33
4.4	Vergelijking van absolute milieu-impacts	37
4.5	Vergelijking gewogen impacts	38
5	**Discussie**	**43**
5.1	Interpretatie van de resultaten	43
5.2	Schadelijke stoffen: beperking van de LCA	44
5.3	Sleutelfactoren	46
6	**Conclusies**	**47**
7	**Literatuurlijst**	**48**
Bijlage A	**In de milieuanalyse gehanteerde methodiek**	**50**
A.1	Beschouwde milieuthema's en weegfactoren	50
A.2	Verwerking van reststoffen	54
A.3	Overzicht gebruikte hulpstoffen	54
A.4	Doel en afbakening	55

Bijlage B **Achtergrondgegevens** **56**
B.1 Achtergrondgegevens voor chemicaliën, energiedragers en transporten 56
B.2 Nadere toelichting bij storten 57
B.3 Nadere toelichting bij stoom en elektriciteit geleverd door WKC 57
B.4 Inzet van teruggewonnen schoon zout (NaCl) 61

Bijlage C **Themascores** **64**
C.1 Milieuprofielen inputs and outputs 64
C.2 Milieuprofielen per categorie voor de alternatieven 71

Samenvatting

Deze rapportage is door CE Delft en Sevenster Environmental opgesteld in het kader van de herevaluatie van de injectievergunning voor productiewater van oliewinning in het Schoonebeeker olieveld. De in dit rapport beschreven levenscyclusanalyse (LCA) is uitgevoerd conform de in het MER LAP-vastgelegde LCA-methodiek. De LCA is onderdeel van een bredere evaluatie aan de hand van het afwegingskader voor waterinjectie in de diepe ondergrond ('CE-afwegingsmethodiek', zie Figuur 2).
De bredere evaluatie, inclusief kosten en risico's voor lange en korte termijn, is beschreven in het door Royal HaskoningDHV opgesteld rapport.

De LCA brengt de totale milieubelasting van een aantal alternatieven voor verwijdering van dit productiewater in kaart. De onderzochte alternatieven zijn geselecteerd door de Minister van Economische Zaken, na een brede discussie met maatschappelijke partijen gedurende zomer en najaar 2016.
De beschouwde alternatieven zijn geselecteerd uit een bredere verzameling van mogelijke verwijderingsroutes, zoals beschreven in het rapport (Royal HaskoningDHV, 2016a en b). 'Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek oliereservoir'.

Er zijn drie varianten beschouwd waarin zouten en andere stoffen uit het productiewater worden verwijderd. Het betreft varianten van verwijderingsroute 'Alternatief 1' uit de oorspronkelijke bredere verzameling van mogelijke verwijderingsroutes. Naast de door NAM zelf ontwikkelde variant, de Tussenrapport-variant, zijn ook twee varianten beschouwd die zijn ontwikkeld door TU Delft en door het bedrijf Salttech uit Sneek.
De drie varianten verschillen qua techniek voor het concentreren en drogen van de afgescheiden zouten.
Het in deze drie varianten geproduceerde zoete water kan worden geloosd op oppervlaktewater. Afhankelijk van de variant kan een deel van de zouten worden hergebruikt.

Daarnaast zijn vier varianten beschouwd waarin het productiewater wordt geïnjecteerd in gedepleteerde (lege) gasvelden in Twente en Drenthe.
Het betreft varianten van verwijderingsroute 'Alternatief 4' uit de oorspronkelijke bredere verzameling van mogelijke verwijderingsroutes.
De varianten verschillen in de mate waarin de pijpleiding qua materiaalkwaliteit intrinsiek bestand is tegen corrosie (Variant 4.1 t/m 4.3), waardoor in afnemende mate mijnbouwhulpstoffen hoeven te worden gebruikt. Als extra variatie is ook een beperkte zuivering van het productiewater in combinatie met maximaal corrosieresistente bebuizing beschouwd (Variant 4.4).

Zoals in Tabel 1 geïllustreerd vraagt verwijdering van zouten en andere stoffen uit productiewater minimaal zeventien maal meer elektriciteit en stoom (Salttech-variant) dan injectie. Voor de afscheiding van zouten en andere stoffen zijn ook chemicaliën nodig, terwijl bij injectie zonder zuivering (Variant 4.1 t/m 4.3) geen chemicaliën nodig zijn.
Ook worden bij twee van de drie varianten van Alternatief 1 (zout afscheiden) H_2S-rijk stripgas[1] geproduceerd dat volgens de huidige opzet van deze

[1] Stripgas is een gasvormig bijproduct van waterzuivering.

varianten wordt meeverbrand bij stoomproductie en daarbij een aanzienlijke SO_2-emissie veroorzaakt.

Tabel 1 Overzicht van geconsumeerde en geproduceerde hoeveelheden (waarden voor 2020-2025)

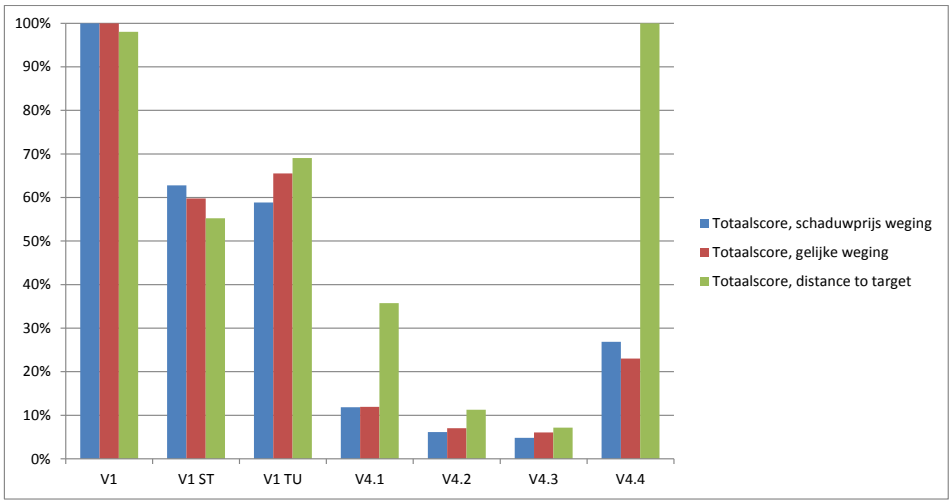
	Alt 1.1 Tussenrapport	Alt 1.2, Salttech	Alt 1.3, TU Delft	Alt 4.1	Alt 4.2	Alt 4.3	Alt 4.4
Elektriciteit (Mwhe/jaar)	114.292	152.386	84.444	13.028	13.028	13.028	13.028
Stoom (GJ/jaar)	920.014	242.725	646.000				
Mijnbouwhulpstoffen (ton/jaar)							
- biociden				1.168	0	0	0
- andere	136	136	136	670	670	320	320
Chemicaliën en hulpstoffen (ton/jaar)	3.245	2.265	3.274				6.428
Reststoffen, ton/jaar							
- hergebruik	260	35.953	58.129				
- lozing in effluent	2.306						
- stripgas	781	781					781
- injectie in ondergrond	0			75.277	74.109	73.759	79.405
- storten	73.155	34.894	17.526				

Tegenover deze extra consumpties in Alternatief 1 staat dat gebruik van mijnbouwhulpstoffen lager is en dat voor Varianten 1.2 en 1.3 een deel van het zout in het productiewater als strooizout herbruikbaar product wordt afgescheiden. De conventionele industriële productie van zout gebruikt echter relatief weinig energie, ten opzichte van de energie die in Alternatief 1 wordt ingezet om het zout uit productiewater te verwijderen. Bovendien kan ook in Varianten 1.2 en 1.3 niet alle zout als herbruikbaar product worden afgescheiden en moet een aanzienlijk deel worden gestort.

De in Tabel 1 gegeven consumpties en producties vormen de basisinput voor de door middel van levenscyclus analyse (LCA) berekende milieubelasting.
Het milieuprofiel van de varianten van Alternatief 1 wordt voor het overgrote deel bepaald door het energiegebruik voor de zuiveringsstappen.
De milieuprofielen van de varianten van Alternatief 4 worden voor een deel bepaald door het energiegebruik voor pijpleidingtransport en injectie, en voor de helft of meer door het gebruik van chemicaliën en de milieubelasting gekoppeld aan de productie daarvan (zogeheten embodied emissions).

Met behulp van zogeheten weging kunnen de verschillende milieu-impacts, zoals de effecten van energieopwekking versus de effecten van chemicaliënproductie, tegen elkaar worden afgezet. Omdat weging gebaseerd is op bepaalde waardering van milieu-impacts gaat het altijd om een subjectieve keuze. Daarom worden drie verschillende wegingen gebruikt bij wijze van gevoeligheidsanalyse. De rangorde van de varianten volgens deze verschillende wegingen wordt in Figuur 1 weergegeven.
De varianten van Alternatief 1 hebben een belangrijk hogere milieubelasting dan de twee varianten van Alternatief 4 met het laagste chemicaliëngebruik. De Varianten 4.2 en 4.3 zijn daarmee de voorkeursopties op basis van de in deze studie gepresenteerde LCA-resultaten.

Figuur 1 Vergelijking van gewogen totaalscore per variant (zichtjaar 2022)



Toelichting: Per weegmethodiek is de hoogste gewogen bijdrage van de verschillende varianten gewaardeerd als 100%. De gewogen bijdragen van de andere varianten zijn ten opzichte van deze maximale score uitgedrukt als percentage van de maximale score.

De andere twee varianten van Alternatief 4 hebben een veel lagere score op klimaatverandering en veel van de andere milieuthema's, maar in de keten van chloorhoudende chemicaliën treden bepaalde toxische emissies op, samenhangend met mijnbouwprocessen. Deze emissies leiden tot een relatief hoge toxische impact van de Varianten 4.1 en 4.4 in vergelijking met van de varianten van Alternatief 1. De afweging tussen deze varianten is daarom minder eenduidig, maar de twee voorkeurswegingen (op basis van schaduwprijzen en gelijke weging) geven nog steeds een belangrijk hogere score voor de varianten van Alternatief 1.

Het terugwinnen van zout in herbruikbare vorm, als strooizout, geeft enige milieuwinst ten opzichte van de Tussenrapport-variant van Alternatief 1, maar het leeuwendeel van de milieuwinst wordt bij de Salttech- en TU Delft-varianten veroorzaakt door een fors lager energiegebruik.

1 Inleiding

1.1 Voorafgaand traject

CE Delft en Sevenster Environmental hebben in 2016 voor Royal HaskoningDHV een globale kwantitatieve vergelijking uitgevoerd van vijf alternatieve verwijderingsroutes voor productiewater van oliewinning in het Schoonebeeker olieveld. De opdracht is uitgevoerd in het kader van de in de vergunning verplichte 6-jaarlijkse herevaluatie voor injectie van dit productiewater in gedepleteerde gasvelden in Twente. Naast injectie in Twente zijn in de LCA beschouwd:

- **Alternatief 1: Vast zout**
  Productiewater wordt vergaand gezuiverd middels destillatie en indampen, gevolgd door lozing van schoon water op het oppervlaktewater en met schoon zout als restproduct.
- **Alternatief 2: Zout naar de zee**
  Productiewater wordt vergaand gezuiverd middels gedeeltelijke ontharding, bio-H_2S-oxidatie, strippen, nitrificatie/denitrificatie en actief koolfilter en afvoer van schoon zout water naar zee.
- **Alternatief 3: Indikken tot compacte brijnstroom**
  Indikken/destillatie van het productiewater, waarbij een deel als gezuiverd schoon zoetwater wordt geloosd op het oppervlaktewater en een deel, met verhoogde concentraties, wordt geïnjecteerd.
- **Alternatief 4: Waterinjectie Twente en Drenthe**
  Beperkte zuivering en injectie gelijktijdig in Twente en Drenthe velden. Er zijn vier varianten beschouwd met toenemende mate van voorzuivering voorafgaand aan injectie:
  - A4.1: geen voorzuivering, wel nieuwe transportleidingen (buis in buis);
  - A4.2: gebruik biociden minimaliseren;
  - A4.3 : gebruik biociden en H_2S-binder minimaliseren;
  - A4.4 : gebruik biocide en H_2S-binder minimaliseren, in combinatie met zuivering.

In deze globale vergelijking zijn de alternatieven vergeleken wat betreft:

- verwachte omvang van energiegebruik;
- verwachte hoeveelheid reststoffen en bijproducten;
- verwachte gebruik van chemicaliën;
- verwachte gebruik van mijnbouwhulpstoffen.

De resultaten van de vergelijking zijn gebruikt in de door Royal HaskoningDHV opgestelde tussenrapportage. Vanwege de suggestie van Commissie MER om met een Tussenrapport op hoofdlijnen te rapporteren is de notitie met de kwantitatieve vergelijking niet gepubliceerd.

1.2 Te onderzoeken varianten in Fase 2

Deze rapportage heeft betrekking op een nieuwe fase in de herevaluatie van de injectievergunning. In deze fase is in opdracht van de Minister van Economische Zaken een meer gedetailleerde onderbouwing opgesteld en is voor de geselecteerde alternatieven een LCA uitgevoerd. Deze analyse is uitgevoerd conform MER LAP en als onderdeel van het afwegingskader voor waterinjectie in de diepe ondergrond (CE Delft, 2004).

In concreto gaat het om:
- Drie varianten op Alternatief 1:
  - een geactualiseerde opzet van Alternatief 1 aan de hand van nieuwe inzichten bij NAM, de Tussenrapport-variant;
  - een variant met DyVaR-cycloontechniek, zoals geleverd door het bedrijf Salttech;
  - een variant met electrodialyse membranen (Variant TU Delft).
- Vier varianten op Alternatief 4:
  - Geactualiseerde versies van de vier al in voorgaande fase beschouwde varianten van Alternatief 4.

1.3 Uitgevoerde werkzaamheden

Doel van de door CE Delft en Sevenster Environmental uitgevoerde werkzaamheden was het genereren van de voor afweging van alternatieven benodigde informatie (zie Figuur 2) over de milieubelasting per alternatief zoals te doen in 'Blok 2' van het afwegingskader (CE Delft, 2004, p.3).

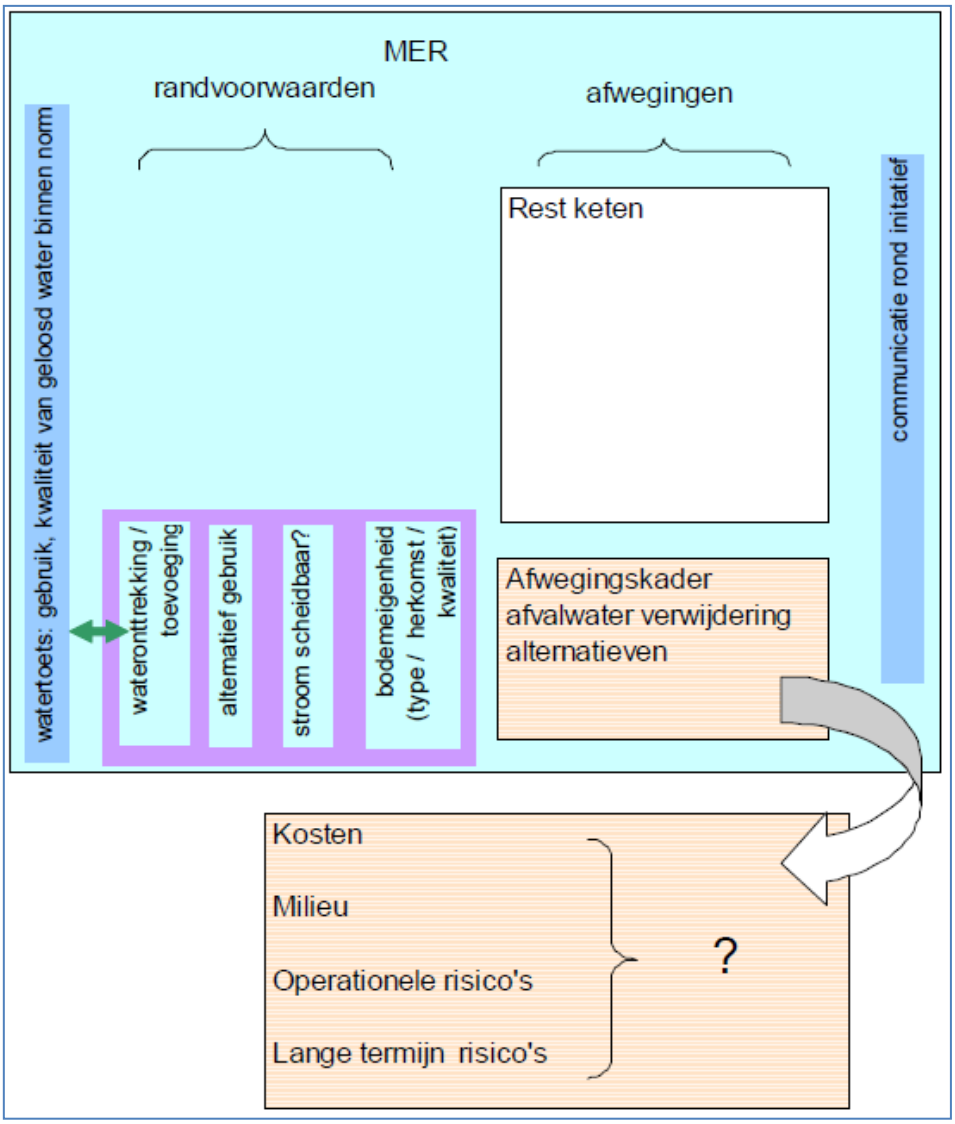
De hiervoor benodigde gegevens zijn door NAM en Royal HaskoningDHV gegenereerd en betreffen:
- optredende emissies naar water, lucht en bodem;
- gebruik van energie en hulpstoffen – omvang en aard;
- geproduceerde hoeveelheden afvalstoffen;
- variatie in bovenstaande parameters gedurende de loop van het project;

Voor het in kaart brengen van de milieueffecten zijn in Excel de processen in de waterbehandeling gekoppeld aan processen voor productie van hulpstoffen en energiedragers, aan transporten en aan verwerking van reststromen.

Daarnaast hebben CE Delft en Sevenster Environmental aanvullende gegevens over milieubelasting gegenereerd met betrekking tot processen niet direct gerelateerd zijn aan de activiteiten van NAM. Dit betreft bijvoorbeeld gecontroleerde stort van vaste reststoffen van waterzuivering op stortplaatsen.

De LCA is uitgevoerd conform de methodiek voorgeschreven in het Landelijk Afvalbeheerplan, met actualisering van milieuthema's en impactfactoren. Op basis van emissies, gebruiken van hulpstoffen en energiedragers en productie van te storten restproducten is per alternatief de bijdragen aan een 18-tal milieuthema's (zie tabel 13, eindrapport LCA-studie). Deze bijdragen zijn vervolgens op drie verschillende manieren gewogen en geaggregeerd tot één uitkomst. Voor de berekeningen is een Excelspreadsheetmodel opgezet.

Figuur 2 **Schematische weergave van de in 2004 ontwikkelde methodiek**



Bron: (CE Delft, 2004).

2 Huidige situatie: olieproductie en waterinjectie

2.1 Olieproductie

Het olieveld Schoonebeek is sinds januari 2011 weer in productie dankzij nieuwe technieken – horizontale putten in combinatie met stoominjectie.

In de huidige bedrijfsvoering wordt in een WarmteKrachtCentrale (WKC) en back-up ketel geproduceerde hoge drukstoom via horizontale putten in het reservoir geïnjecteerd. De door de stoom aangevoerde warmte vloeibaar geworden olie en geassocieerd aardgas (secundair gas) worden samen met condens en formatiewater via de putten verzameld en naar het oppervlak opgepompt. In de OlieBehandelingsInstallatie (OBI) worden gas, olie en water vergaand van elkaar gescheiden.

De binnenkomende water/olie/gasstroom wordt eerst door verwarmen of koelen op een temperatuur van 80°C gebracht. Daarna worden voor een gewenste scheiding van olie en water en om ongewenste processen als schuimvorming en corrosie te vermijden chemicaliën toegevoegd, die in olie en productiewater achterblijven. De olie wordt ontwaterd in scheidingstanks, wordt ontzout door nabehandeling met waswater en naar de BP-raffinaderij in Lingen verpompt.

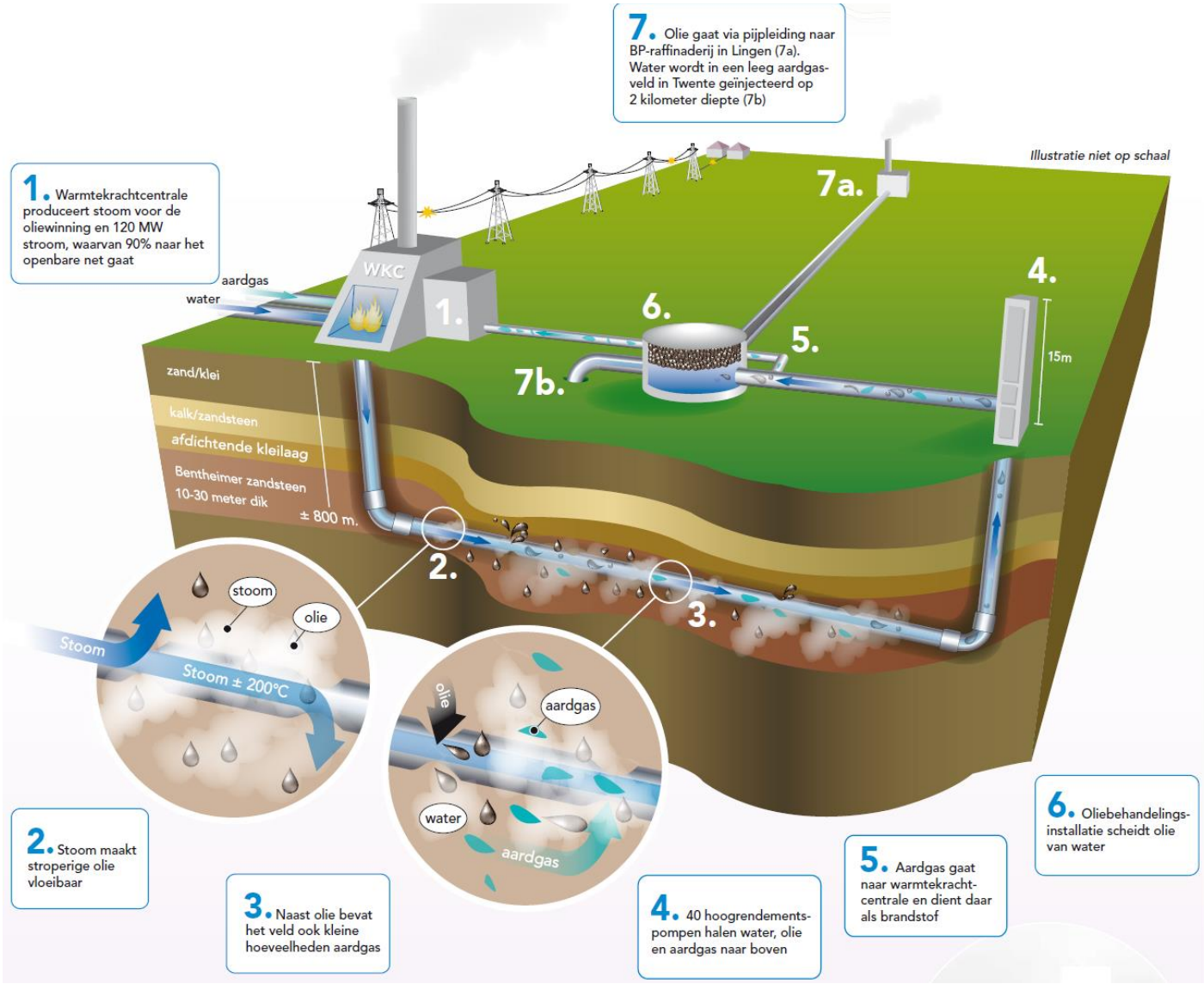
De WKC bestaat uit een gasturbine met afgassenketel met bijstook.
De afgassenketel produceert stoom van 310°C en circa 82 Bara. De bijstookbranders van de WKC verwerken alle secundaire gas en kunnen met aardgas worden bijgestookt. Er is daarnaast een met aardgas en secundair gas ondervuurbare hulpketel om bij uitval.

2.2 Productiewater

Het in de OBI-afgescheiden productiewater bestaat voor een deel uit formatiewater en voor een deel uit condenswater van de ingebrachte stoom. Gedurende de eerste jaren zal het productiewater voornamelijk uit formatiewater bestaan. Geleidelijk neemt de bijdrage van condenswater steeds meer toe. Bij oliebehandeling wordt extra water toegevoegd in de vorm van waswater. Het afgescheiden productiewater wordt in een scheidingstank gereinigd, gebruikt voor warmteterugwinning en dan verpompt.
Bij de reiniging wordt als hulpstof water-clarifier gebruikt.

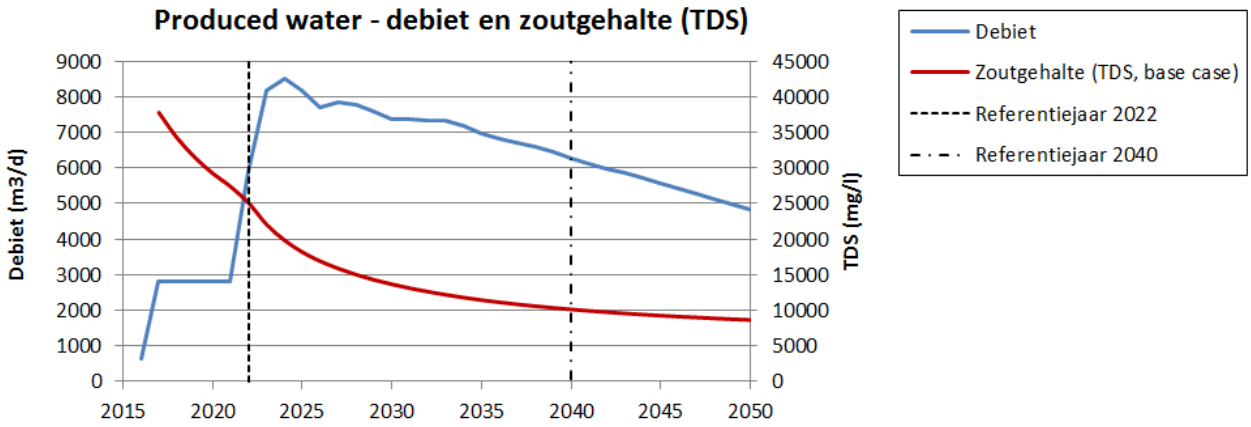
De kwaliteit van het productiewater wordt onder meer weergegeven middels het zoutgehalte en de hoeveelheid zwevende stof. Het zoutgehalte wordt uitgedrukt in de eenheid TDS (Total Dissolved Solids: totale hoeveelheid opgeloste stoffen). Zwevende stoffen worden uitgedrukt in de eenheid TSS (Total Suspended Solids: totale hoeveelheid onopgeloste stoffen). Zwevend stof bestaat met name uit zand en neerslagen van ijzer (FeS), mangaan en $CaCO_3$.

Figuur 3 Oliewinning in Schoonebeek



Geleidelijk treedt verdunning op met water afkomstig van de stoominjectie, waarin een veel lager gehalte aan opgeloste stoffen wordt verwacht.

Figuur 4 Ontwikkeling productiewater volume en saliniteit



Samenstellingsgegevens van het productiewater zijn weergegeven in Tabel 2. Ter vergelijking zijn ook de grenswaarden weergegeven voor lozing op oppervlaktewater. In Tabel 3 zijn de overeenkomstige waterkwaliteits-karakteristieken aangegeven.

Tabel 2 Concentraties in productiewater (waarden in mg/l)

	Anno 2022	Anno 2040	Grenswaarden Water Framework Directive
Zouten	25.000	10.130	
- sulfaat	0	0	2.000 (zeewater) 500 (zoetwater)
- barium	13	5	Locatie-afhankelijk
- strontium	168	68	
Zware metalen	<0,80	<0,30	
- mangaan	0,70	0,30	
- overig	< 0,10	<0,03	
Sulfide	100	100	30
NH_4^+	39	39	11
Zwevende deeltjes (TSS)	46	46	30
Minerale olie	50	50	15
Methanol, glycolen	0	0	
Aromaten, BTEX	3	3	0,01
Mijnbouwhulpstoffen	1.091	1.091	
Ov. organische verbindingen[2]	52	52	

Bron: Op basis van meetgegevens tot 2015 in combinatie met modelgegevens.

[2] Met name azijnzuur en kleinere hoeveelheden fenol (<0,2 mg/l), propionzuur en mierenzuur.

Tabel 3 **Waterkwaliteit karakteristieken van productiewater (waarden in mg/l)**

Waterkwaliteit karakteristieken	Anno 2022	Anno 2040	Grenswaarde Water Framework Directive
CZV (inclusief olie, vetten en opgelost sulfide)	420	420	125
BZV	260	260	125
Zwevende deeltjes	46	46	30
N-totaal	30	30	10
P-totaal	0,6	0,6	1,0

Het water bevat aanzienlijke hoeveelheden barium, mangaan en vooral strontium aan zware metalen. In vergelijking met de grenswaarden voor lozing op oppervlaktewater is een significante reductie in de hoeveelheid organisch materiaal, maar ook van de concentraties van sulfide, stikstof en zware metalen (met name Sr en Ba) nodig.

In Tabel 4 zijn de overeenkomstige jaarvrachten gegeven om een indruk te geven van de omvang van hoeveelheden in productiewater opgelost zout en andere verbindingen.

Tabel 4 **In productiewater aanwezige hoeveelheden opgeloste en zwevende stoffen (ton/jaar)**

	Anno 2022	Anno 2040
Totaal volume, miljoen m^3/jaar	3.026	2.288
Zouten	75.646	23.174
- w.v. prioritaire stoffen	508	156
- w.v. toxische zware metalen	40	12
Sulfide	303	229
NH_4^+	117	88
Zwevende deeltjes	139	105
Minerale olie (als $CH_{1.84}N_{0.02}$)	151	114
Methanol, glycolen	0	0
Aromaten	9	7
Mijnbouwhulpstoffen	3.302	2.496
Ov. organische verbindingen	157	119

2.3 Huidige verwijderingsroute

In de huidige situatie wordt het omhoog gepompte mengsel van olie en productiewater in de OBI gescheiden waarna het productiewater via een pijpleiding naar Twente wordt verpompt en daar in gedepleteerde gasvelden wordt geïnjecteerd.

Vanuit de OBI wordt het water in een ‘skimtank’ verzameld. Het water heeft dan een temperatuur van 80°C. Om risico op corrosie te minimaliseren wordt een anti-corrosiemiddel toegevoegd aan het te injecteren productiewater. Het water wordt vervolgens ter plaatse van de OBI gekoeld tot 50°C waarbij warmte wordt teruggewonnen. De gebruikte hoofdtransportleiding voor afvoer naar Twentse gasvelden is ontworpen voor temperaturen van maximaal 50°C. De druk op de transportleiding bedraagt maximaal 40 Bara begindruk.

In de standaard bedrijfsvoering worden per jaar honderden tonnen mijnbouw-hulpstoffen toegevoegd. De druk op de transportleiding bedraagt maximaal 40 Bara begindruk. In de standaard bedrijfsvoering worden per jaar honderden tonnen mijnbouwhulpstoffen toegevoegd.

Tabel 5 **Gebruik van hulpstoffen bij injectie in Twente (waarden voor 2022)**

	mg/l	kg/dag	ton/jaar
Anti-corrosievloeistof	200	1.596	583
Biocide	0	0	0
Anti-aanslagvloeistof	200	1.596	583
Zuurstofbinder	50	399	146
Water Clarifier	100	798	291
Demulsifier	21	168	61
Azijnzuur (CH_3COOH)	46,63	372	136

Bron: De waarden in Tabel 4 zijn gebaseerd op het Twente permit. In werkelijkheid worden er aanzienlijk kleinere hoeveelheden gebruikt.

Op de injectielocaties wordt het water door middel van een injectiepomp in de put gepompt. Het elektriciteitsverbruik is proportioneel met de water-hoeveelheid en de injectiedruk. Met een typisch hydraulisch pomprendement van 70%, is het elektriciteitsverbruik 16.9 kW bij 100 m^3/dag en 70 barg injectiedruk. Dit komt overeen met een specifiek verbruik van 4,1 kWh_e/m^3 geïnjecteerde vloeistof.

Om de injectiecapaciteit op peil te houden, kan het noodzakelijk zijn om de putten te behandelen met een zuur. Dit wordt een putstimulatievloeistof genoemd, die bestaat uit HCl in combinatie met oplosmiddelen. Deze vloeistof zorgt ervoor dat olieresten en vaste deeltjes verwijderd worden. Periodieke stimulaties om de injectiviteit op peil te houden, zijn waarschijnlijk wel nodig. De frequentie van de putstimulatie is onzeker. De verwachting was om het gemiddeld 1,5 keer per put per jaar te doen, maar gebeurt tot op heden veel minder vaak. Vanwege de hoge injectiviteit in de Zechstein-carbonaten is deze vorm van putstimulatie nog niet nodig geweest. Hierdoor zijn gegevens over gebruik van chemicaliën bij putstimulatie nog niet beschikbaar.

Herziene berekeningen sinds de MER-2006 van de beschikbare capaciteit geven aan dat binnen de vergunde reservoirs in totaal slechts tweederde van de voorziene hoeveelheid productiewater kan worden opgeslagen. Aanvullende vergunningen kunnen zorgen voor vergroting van de beschikbare waterinjectie-capaciteit, maar deze blijft naar verwachting onvoldoende voor de gehele productieperiode. Daarmee zal NAM op termijn aanvullende opties nodig hebben om de productie van olie voort te zetten.

3 Beschouwde alternatieve routes

3.1 Beschouwde alternatieve routes op hoofdlijnen

Bij de selectie van verwerkingstechnologieën uit de brede inventarisatie (de long list) en het in concept ontwerpen van integrale verwerkingsroutes zijn NAM en Royal HaskoningDHV uitgegaan van een aantal verschillende strategieën. De geselecteerde routes voor deze analyse zijn:

1. **Vast zout**
   Zuivering en lozing van zoetwater op lokaal oppervlakte water, zonder injectie van reststromen. Kristallisatie van zout.
2. **Waterinjectie Twente en Drenthe**
   Injectie van het volledige water volume, gelijktijdig in Twente (pipe-in-pipe) en ZO Drenthe-velden- eventueel met additionele verwijdering van schadelijke stoffen waarvoor anders mijnbouwhulpstoffen zouden moeten worden toegevoegd.

Bij het eerste alternatief vindt geen waterinjectie plaats. Dat betekent dat de waterinjectie in Twente zal worden beëindigd. Het vierde alternatief gaat uit van voortzetting van waterinjectie, met als onderscheidende factor dat ook in Drenthe injectie plaatsvindt.

De verschillende strategieën zijn door Royal HaskoningDHV en NAM uitgewerkt tot complete waterbehandelingsconcepten door combinatie van water-zuiveringstechnieken. Daarbij zijn verschillende varianten beschouwd, zie Tabel 6.

De additionele waterbehandeling zal worden gerealiseerd naast de bestaande OBI. Voor waterzuivering benodigde elektriciteit wordt door de WKC op het terrein geleverd. Stoom voor indampen en kristallisatie wordt geleverd door een nieuw te bouwen aardgasgestookte ketel.

Alle alternatieve verwerkingsroutes beginnen met gasinjectie (induced gas flotation of IGF) voor het in belangrijke mate verwijdering van restanten olie en zwevend stof. Voor gasinjectie zal aardgas worden gebruikt. Afgescheiden olie/water mengsels worden gerecirculeerd naar de OBI.

Bij verwijdering door strippen wordt aardgas als stripgas toegepast.

Door NAM is aangenomen dat stripgassen uit bovengenoemde processen in de WKC kunnen worden gebruikt als brandstof. De routes worden hieronder kort beschreven in aparte paragrafen.

Tabel 6 Overzicht door NAM en ROYAL HASKONING DHV overwogen alternatieve verwijderingsroutes

Variant	Opties		Varianten	Omschrijving
Alternatief 1	Zuivering en lozing van zoetwater op lokaal oppervlakte water, zonder injectie van reststromen. Afscheiding van zout door middel van verschillende technieken	**1.1 Tussenrapport**	Volledige indamping en destillatie van zout water tot loosbaar effluent en te storten restzout.	MVR unit zorgt voor schoon zoetwater. H_2S, Tolueen en CO_2 gaan terug naar OBI. Zout wordt gezuiverd tot gemengd zout vrij van koolwaterstoffen
		1.2 Salltech	Gedeeltelijke terugwinning NaCl als herbruikbaar product	Na ontgassing met aardgas indampen in twee stappen met DyVaR-technologie. Nabehandeling van destillaat voorafgaand aan lozing.
		1.3 TU Delft	Maximale terugwinning van NaCl als herbruikbaar product	Opsplitsen van productiewater met elektrodialysemembranen in deelfracties, die daarna worden ingedampt. Nabehandeling van destillaat voorafgaand aan lozing.
Alternatief 4 Injectie van het volledige water volume, eventueel met additionele zuivering	Injectie van het volledige water volume, gelijktijdig in Twente (pipe-in-pipe) en ZO Drenthe velden, eventueel met additionele zuivering van mijnbouwhulpstoffen	**4.1**	Geen additionele zuivering	Continuering van huidige manier van opereren.
		4.2	Technisch hoogst haalbare zuivering van biocide	Zoveel mogelijk voorkomen van gebruik van biocide door installatie-resistente materialen.
		4.3	Technisch hoogst haalbare zuivering van mijnbouwhulpstoffen	Zoveel mogelijk voorkomen van gebruik van Zwavelwaterstofbinder door installatie-resistente materialen. Corrosieremmer blijft noodzakelijk om putten te beschermen.
		4.4	Als 4.3 met zuivering van natuurlijk voorkomende stoffen (b.v. Tolueen, H_2S, CO_2)	H_2S verwijdering door ClO_2. Tolueen en CO_2-verwijdering door ontgassing

3.2 Vast zout – zoutkristallisatie

In dit alternatief wordt productiewater volledig ingedampt en middels destillatie gescheiden in vrijwel zoutloos gezuiverd water en een restzout-product. Omdat geen injectie plaatsvindt hoeven nauwelijks mijnbouw-hulpstoffen te worden toegevoegd: wel waterreiniger en emulsiebreker, maar geen anticorrosie vloeistof, biocide, anti-aanslag vloeistof of zuurstofbinder.

3.2.1 Toegepaste processen

In dit alternatief wordt het productiewater volledig gezuiverd, waarbij zowel de hulpstoffen als het zout uit het water worden gehaald. Het resterende gezuiverde water wordt geloosd op het oppervlaktewater in de omgeving van de OBI. Het alternatief 'vast zout' bestaat uit de volgende onderdelen:

- zuiveringsstappen van het productiewater;
- afvoer zoetwater naar watergang;
- afvoer van de restproducten.

Om er voor te zorgen dat het restproduct zo min mogelijk verontreinigingen bevat, worden eerst BTEX (Benzeen, Tolueen, Ethyl Benzeen en Xylenen), H_2S en CO_2 afgevoerd als stripgas. Dit stripgas wordt mogelijk eerst ontdaan van H_2S, waarna het resterende BTEX en CO_2-houdende gas in de stoomketel worden verbrand. Vanwege de energie-inhoud van de BTEX wordt hierbij een kleine hoeveelheid aardgas uitgespaard.
Daarna wordt zout onder inzet van mechanische damprecompressie ingedampt om daarna in een tweede stap met lage drukstoom te worden gedroogd tot gekristalliseerd zout.
Radioactieve stoffen en zware metalen uit de ondergrond komen in het zoutproduct terecht. De concentratie radioactieve stoffen is zodanig laag dat het zoutproduct niet melding plichtig is.
Volgens de huidige inzichten wordt het destillaat met stoomstripping ontdaan van ammoniak, waarna resterende verontreinigingen door reactie met ClO_2 en adsorptie aan actieve kool worden verwijderd. Gestripte ammoniak wordt geïsoleerd als $(NH_4)_2SO_4$-oplossing, een product dat bijvoorbeeld ook uit afgassen van varkensstallen wordt teruggewonnen en kan worden afgezet als kunstmest. Het stripproduct is volgens de modelsimulatie van NAM >99,99% zuiver.
Het is onzeker of met stoomstrippen de voor lozing benodigde minimale ammoniakconcentratie kan worden gehaald. Het energiegebruik van dit proces is daarnaast significant. Per ton ammoniak is ongeveer 4.850 GJ stoom nodig, ruim 160 maal hoger dan de energie nodig voor ammoniakproductie (bij een moderne fabriek). Aan de andere kant zijn de investeringskosten van dit proces beperkt. Alternatieve technieken zoals een bioreactor gebruiken veel minder energie maar zijn gevoeliger en daarmee onbetrouwbaarder voor de fluctuaties in de specificaties van het productiewater[3].

Het gereinigde water kan worden geloosd. In overleg met het waterschap kan worden bepaald waar het gezuiverde water in het oppervlaktewater komt. Vooralsnog kan worden aangehouden dat dit richting Stieltjeskanaal afgevoerd kan worden.

---

[3] Volgens informatie van NAM de specificaties van het productiewater, zoals temperatuur, H_2S-gehalte en de restconcentratie aan olie aanzienlijk variëren van uur tot uur.

3.2.2 Gebruik van hulpstoffen en energie, productie aan bijproducten en reststoffen

In Tabel 7 is een overzicht gegeven van het gebruik aan hulpstoffen en energiedragers in de huidige opzet van Alternatief 1. Ter vergelijking is ook het gebruik aan hulpstoffen energiedragers in de referentiesituatie gegeven.

Tabel 7 Overzicht van hulpstoffen, energiedragers, bijproducten en afvalstoffen voor Alternatief 1.1 (waarden voor 2020-2025)

	MVR	Kristal-lisatie	NH_3 Strippen	Overige processen	Som	Ter vergelijking, injectie in Twente
Elektriciteit ov. processen, Mwh_e/jaar	113.880			412	114.292	
Elektriciteit injectie, Mwh_e/jaar						13.028
NaOH (100%), ton/jaar			1.168		1.168	
HCl (100%), ton/jaar	1.278				1.278	
Verse AK, ton/jaar				21	21	
Stoom, GJ/jaar		677.289	242.725		920.014	
ClO_2 (20%), ton/jaar				538	538	
H_2SO_4 (100%), ton/jaar				240	240	

In vergelijking met die referentiesituatie (injectie in Twente) is het elektriciteitsgebruik zo'n zeven maal hoger, terwijl daarnaast het vijftien-voudige aan stoom wordt geconsumeerd.

Tabel 8 Overzicht van consumptie van mijnbouwhulpstoffen voor Alternatief 1.1 (waarden voor 2020-2025)

	Consumptie (ton/jaar)
Anti-corrosievloeistof	0,0
Biocide	0,0
Anti-(bariumsulfaat) aanslagvloeistof	43,7
Zuurstofbinder	0,0
Waterreiniger	58,8
Emulsiebreker	32,9
Antischuimmiddel	0,9
H_2S-binder	0,0
Totaal	136,3

Daarnaast produceert dit alternatief in deze vorm gedurende de gehele exploitatieperiode bijna 1 megaton aan zout zonder hergebruikpotentie die eeuwigdurend bovengronds moet worden opgeslagen. Wel biedt Alternatief 1 in de huidige opzet een bescheiden mogelijkheid tot hergebruik in de vorm van een als kunstmest toepasbaar product.

3.2.3 Zoutafzet

Alle zouten (behalve ammonium) worden als één integraal mengsel ingedampt en gekristalliseerd, inclusief in het productiewater aanwezige zware metalen en (kleine hoeveelheid) radioactieve stoffen.

Tabel 9 **Overzicht van productstromen en reststromen voor Alternatief 1.1 (waarden voor 2020-2025)**

		Productie (ton/jaar)
Hergebruik	$([NH_4]_2)SO_4$	194
Afvoer oppervlaktewater	Zout in destillaat	2.306
afvoer injectie	Opgelost zout	0
Storten	Zout product	73.155
Totaal		75.655

Het gevormde mengsel is in ieder geval qua samenstelling maar waarschijnlijk ook qua aanwezigheid van zware metalen (met name barium en strontium) niet nuttig toepasbaar. Hergebruik als strooizout bijvoorbeeld vergt een > 97% zuiver NaCl-zout me een zware metaalconcentratie < 15 ppm[4, 5].
Over een periode van 25 jaar wordt dit bijna 1 Mton zout met een volume van ongeveer 1 miljoen m^3, waarvoor een bestemming moet worden gevonden. Hoe en waar eindberging van het zoutproduct vorm kan krijgen is op dit moment nog in onderzoek. Het zoutmengsel is zeer goed oplosbaar, waardoor opslag in de buitenlucht zoals in Duitsland gebeurt met restmateriaal van kaliumzout mijnbouw[6] geen optie lijkt. Een optie voor eindberging met minder zoutbelasting voor oppervlaktewater en grondwater is geconditioneerd storten van het zout in een reguliere stortplaats.
Het zout zal hiervoor naar verwachting in big bags met afdekhoes moeten worden verpakt om oplossing tijdens exploitatie van het stortcompartiment te voorkomen.

In deze evaluatie is aangenomen dat gecontroleerde stort wordt toegepast.

3.3 Vast zout - Salttech-proces

Een processchema van Variant 1.2 met DyVaR-technologie is gegeven in Figuur 5. In de variant wordt eerst 100% van de in het productiewater aanwezige H_2S en 70% van het (bi)carbonaat verwijderd middels ontgassing.

Vervolgens wordt het productiewater met een eerste thermische cycloon (handelsnaam DyVaR) van de firma Salttech (zie Figuur 6) middels verdamping geconcentreerd tot ongeveer 1/35ste van het oorspronkelijk volume.
Het principe van de DyVaR is vergelijkbaar met dat van een multi-effect verdamper: de verdamping is deels gebaseerd op het aanleggen van een beperkte onderdruk, deels op het opwarmen van water middels verpompen en middels thermische damprecompressie. Energietoevoer vindt plaats in de vorm van elektriciteit voor pomp en dampcompressor.

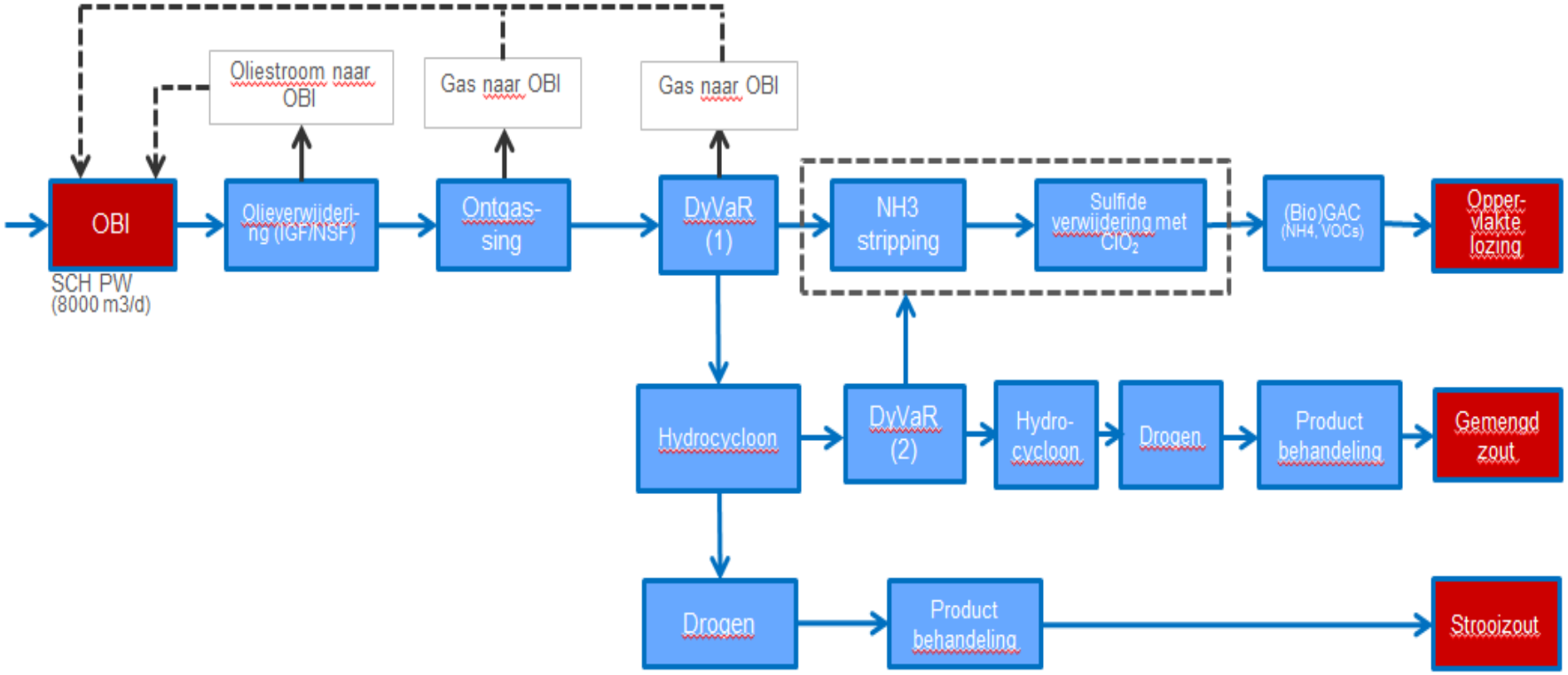
---

4 Volgens (Alterra, 2012): Voor droog strooizout (NaCl) wordt geëist dat het zout minimaal 97% NaCl bevat en maximaal 43% vocht. Het totaalgehalte aan zware metalen mag niet hoger zijn dan 15 ppm (som As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb en Zn). Voor $CaCl_2$ bestaan dergelijke eisen nog niet (TNO, 2003).

5 En zie: (AEBI Schmidt Nederland, 2011)

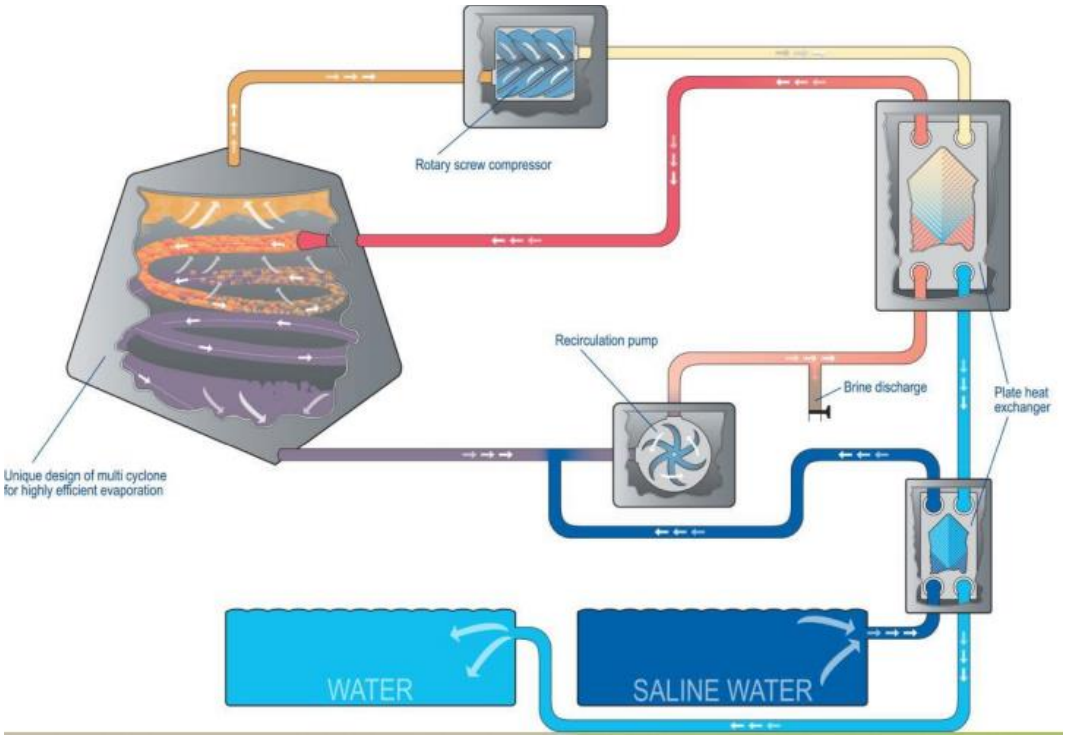
6 Zie bijvoorbeeld: https://de.wikipedia.org/wiki/Monte_Kali

Figuur 5 Processchema line-up Variant Salttech met DyVaR-technologie



Bron: (Royal_HaskoningDHV, 2016c).

Figuur 6 Principe van de thermische cycloonreactor c.q. DyVaR



Bron: (Busby, 2015).

Met de waterdamp wordt ook 100% van de NH_3 en COD/BOD en 60% van alle BTEX uit het productiewater afgevoerd. Deze componenten worden verwijderd (actief koolfilter, H_2S-oxidatie met ClO_2, N-verwijdering) voordat het afgedampte water als condensaat wordt geloosd. Welk proces precies zal worden toegepast voor verwijdering van ammoniak is nog niet helemaal duidelijk. Voorlopig wordt uitgegaan van strippen met lage drukstoom.

Door de vergaande concentratie kristalliseert NaCl geconcentreerd uit met minimale neerslag van andere zouten, voornamelijk $CaCO_3$. De gevormde zoutkristallen worden met een hydrocycloon afgescheiden en met een centrifuge mechanisch gedroogd tot enkele procenten restvocht. In deze fractie komt volgens de huidige inschattingen ook 90% van de in het productie-water aanwezige radioactieve elementen terecht.

De overblijvende oplossing wordt verder ingedampt in een tweede DyVaR c.q., thermische cycloon. Het afgescheiden condensaat van deze installatie wordt toegevoegd aan het afgescheiden condensaat van de eerste DyVaR en gereinigd voorafgaand aan lozing. De gevormde neerslag wordt weer afgescheiden met een hydrocycloon en mechanisch gedroogd. Deze fractie wordt gecontroleerd gestort.
Er is in theorie nog een mogelijkheid om meer NaCl uit deze fractie terug te winnen. De praktische mogelijkheden zullen echter verder onderzocht moeten worden.

Tabel 10 Overzicht van hulpstoffen en energiedragers voor Alternatief 1.2 Salttech (waarden voor 2020-2025)

	DyVaR 1	DyVaR 2	NH_3 Stripping	Overige processen[7]	Som	Ter vergelijking, injectie in Twente
Flocculant IGF, ton/jaar				29	29	
Elektriciteit ov. processen, Mwh_e				1.493	1.493	
Elektriciteit indampen Mwh_e/jaar	146.000	6.386			152.386	
Elektriciteit injectie, Mwh_e/jaar						13.028
Verse AK, ton/jaar				28	28	
Stoom, GJ/jaar			242.725		242.725	
ClO_2 (20%), ton/jaar				715	715	

Het totaal elektriciteitsgebruik in deze variant is 153.879 MWh_e per jaar. Gebruik van mijnbouwhulpstoffen is hetzelfde als voor de Tussenrapport-variant (zie Tabel 8, Paragraaf 3.2).

Er wordt 98,5 ton/dag aan strooizout geproduceerd. Daarnaast komt 95,6 ton/dag aan gemengd zout vrij dat moet worden gestort. De aannames hierover in het LCA-model worden beschreven in Bijlage A.2 en A.4.

3.4 Vast zout - TU Delft-proces

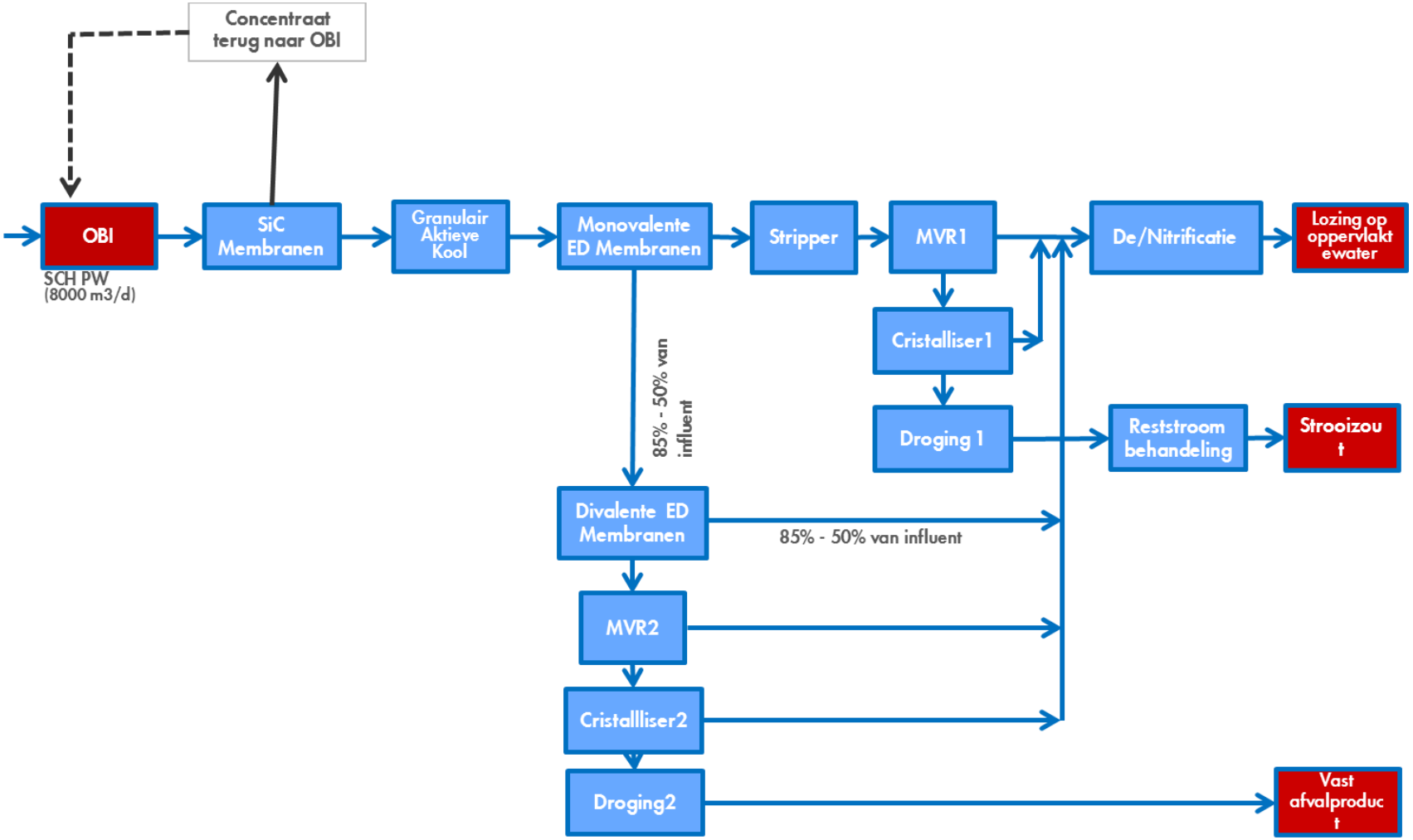
Door de TU Delft is een variant voorgesteld gebaseerd op scheiden van productiewater in zoutoplossingen van éénwaardige en van tweewaardige ionen. Op die manier kan NaCl (samen met KCl) in hoge mate worden geïsoleerd met oog op hergebruik.
Deze variant is echter nog maar gedeeltelijk uitgewerkt waardoor technologiekeuzes nog niet vastliggen en mogelijkheden voor eventuele optimalisatie nog niet diepgaand zijn onderzocht. Bovendien is de door TU Delft voorgestelde membraan technologie nog in ontwikkeling.
De voor deze variant berekende emissies, energiegebruiken en andere vormen van milieubelasting zijn dan ook nog sterk indicatief.

In de door TU Delft ontwikkelde variant wordt resterende olie met een SiC keramisch filter verwijderd, waarna H_2S, BTEX en mijnbouwhulpstoffen met actieve kool en een tweede - nog niet geselecteerd proces - worden verwijderd.

Vervolgens worden met een elektrodialyse membraan de éénwaardige ionen afgescheiden in een aparte en zo geconcentreerd mogelijke oplossing, inclusief ammoniak. De afgescheiden oplossing wordt na gedeeltelijke verwijdering van ammoniak/ammonium volledig ingedampt met een mechanische damprecompressie-installatie gevolgd door met stoom verwarmde kristallisatie-eenheden. De achterblijvende NaCl kan als strooizout worden afgezet. Het bij indampen afgescheiden condensaat wordt nagezuiverd en op oppervlaktewater geloosd.

7 IGF voor olieverwijdering, sulfide oxidatie, actief koolfilter, N-verwijdering.

Figuur 7 Stroomschema Alternatief 1.3, Variant TU Delft



Bron: (Royal_HaskoningDHV, 2016c).

De andere oplossing met meerwaardige ionen wordt door een tweede elektrodialyse membraan geleid om zoveel mogelijk ionenvrij water af te scheiden en de oplossing met meerwaardige ionen verder te concentreren.
De afgescheiden ionenvrije waterstroom wordt toegevoegd aan het condensaat van de indamping van NaCl.
Het concentraat van het tweede membraan wordt apart volledig ingedampt. Het overblijvende zoutmengsel (mengzout) zal gecontroleerd moeten worden gestort. De afgescheiden waterdamp wordt samengevoegd met de waterdamp van de oplossing met éénwaardige ionen en na reiniging geloosd.

Het energiegebruik in deze variant wordt sterk bepaald door de efficiency waarmee de twee membranen de zoutionen concentreren. Hoe hoger deze efficiency is, des te minder water hoeft te worden verdampt bij productie van vaste NaCl en vast mengzout.
Geschat wordt dat het rendement van de membranen tussen 50 en 85% ligt. Hiermee wordt bedoeld dat 50-85% van het water als ionenarme (eerste membraan) of ionenvrije (tweede membraan) wordt afgescheiden.

In overleg met TU Delft is door NAM de volgende schatting van het energiegebruik gemaakt:
- geschat dat voor scheiding en indamping bij een membraanefficiency van 50% voor de periode 2020–2025 in totaal 1.000.000 GJ/jaar aan energie nodig is, waarvan 85% stoom en 15% elektriciteit;
- bij een membraanefficiency van 85% neemt het energiegebruik af tot 900.000 GJ/jaar (periode 2020–2025), waarvan voor zover bekend weer 15% elektriciteit;
- ter vergelijking: het energiegebruik van de door NAM zelf ontwikkelde variant bedraagt 1.300.000 GJ/jaar (periode 2020–2025), waarvan 30% elektriciteit.

De onzekerheid in de geschatte energiegebruiken zou onafhankelijk van het rendement van de membranen 25% bedragen.

Om de milieubelasting gerelateerd aan energiegebruik in deze LCA mee te nemen is uitgegaan van een gemiddelde waarde van 950.000 GJ/jaar, waarvan 15% elektriciteit. De bepaling van deze waarde is weergeven in Tabel 11.
Het gebruik aan energie en bulkchemicaliën is weergegeven in Tabel 12.

Gebruik van mijnbouwhulpstoffen is hetzelfde als voor de NAM-variant (zie Tabel 8, Paragraaf 3.2).

Er wordt in deze variant 58.129 ton/jaar aan strooizout afgescheiden (159 ton per dag). Daarnaast komt 17.526 ton/jaar (48 ton/dag) aan gemengd zout vrij dat moet worden gestort. De aannames hierover in het LCA-model worden beschreven in Bijlage A.2 en A.4.

Tabel 11 Overzicht van hulpstoffen en energiedragers voor Alternatief 1.3 TU Delft (waarden voor 2020-2025)

Scenario	GJ/jaar	Onzekerheid	Gehanteerd	Percentage elektriciteit
Scenario hoog efficiënt (85% eff membranes)	900.000	25%	675.000	15%
Scenario laag efficiënt (50% eff membranes)	1.000.000	25%	1.250.000	15%
Gemiddeld	950.000		950.000	15%

Tabel 12 Overzicht van hulpstoffen en energiedragers voor Alternatief 1.3 TU Delft (waarden voor 2020-2025)

	Totaal
Flocculant IGF, ton/jaar	29
Elektriciteit ov. processen, Mwhe/jaar	84.444
NaOH (100%), ton/jaar	1.168
HCl (100%), ton/jaar	1.278
Verse AK, ton/jaar	21
Stoom, GJ/jaar	646.000
ClO_2 (20%), ton/jaar	538
H_2SO_4 (100%), ton/jaar	240

3.5 Waterinjectie Twente en Drenthe

3.5.1 Toegepaste processen

Indien al het productiewater verwerkt wordt met gebruikmaking van waterinjectie, zijn er naast de huidige Twentevelden aanvullende velden nodig. De meest kansrijke velden voor aanvullende waterinjectie zijn de velden Schoonebeek Diep, Coevorden. Al deze velden samen hebben ruimschoots voldoende opslagcapaciteit en voldoende putten beschikbaar.

Het alternatief 'waterinjectie' bestaat zodoende uit de volgende onderdelen:
- zuiveringsstappen van het productiewater;
- afvoer water naar injectielocaties;
- afvoer van de restproducten.

Omdat wordt geïnjecteerd worden diverse mijnbouwhulpstoffen toegevoegd.

Zuiveringsstappen van het productiewater

Bij dit alternatief wordt onderzocht wat er nodig is om binnen de huidige vergunningsverplichtingen voor de waterinjectie in Twente te blijven, maar wordt als variant ook in beeld gebracht wat ervoor nodig is om de waterkwaliteit van het te injecteren water zoveel mogelijk te verbeteren door het verwijderen van stoffen. Dit betreft het voorkomen en verwijderen van mijnbouwhulpstoffen en het verwijderen van die stoffen (anders dan zout) die van nature in het productiewater voorkomen.

Hiervoor zijn de volgende stappen voorzien:
- Ontgassing: BTEX (Benzeen, Tolueen, Ethyl Benzeen en Xylenen), H_2S en CO_2 worden afgevoerd als stripgas. Dit stripgas wordt mogelijk eerst ontdaan van H_2S, waarna het resterende BTEX- en CO_2-houdende gas in de stoomketel worden verbrand. Vanwege de energie-inhoud van de BTEX wordt hierbij een kleine hoeveelheid aardgas uitgespaard.
- Chemical sulphide oxidatie met ClO_2.

Afvoer water naar injectielocaties

Voor waterinjectie wordt uitgegaan van een debiet van circa 8.000 m^3 per dag. Het totale benodigde debiet gedurende het gehele project tot 2040 wordt geraamd op 50 tot 70 miljoen m^3. Door gebruik te maken van zowel de velden in Twente als in Drenthe is er voldoende capaciteit voor de opslag van het productiewater. In varianten wordt onderzocht wat de beste verhouding is tussen waterinjectie in Twente en Drenthe. Primair wordt hierbij gedacht aan de gelijktijdige opslag van productiewater in Rossum Weerselo (Twente), Schoonebeek Diep (Drenthe) en Coevorden (Drenthe, gedeeltelijk Overijssel). Schoonebeek Diep is het leeg geproduceerde gasveld onder het olieveld van

Schoonebeek. In Drenthe komen mogelijk aanvullend de velden van Oosterhesselen en Dalen in aanmerking voor waterinjectie.

3.5.2 Gebruik van hulpstoffen en energie, productie aan bijproducten en reststoffen

In Tabel 13 is een overzicht gegeven van het gebruik aan hulpstoffen en energiedragers in de huidige opzet voor de vier varianten van Alternatief 4. Variant 4.4 is de enige waarin gedeeltelijke zuivering plaatsvindt.

Tabel 13 Overzicht van gebruik van bulkchemicaliën en energiedragers voor Alternatieven 4.1 t/m 4.4 (waarden voor 2020-2025)

	4.1	4.2	4.3	4.4	Ter vergelijking, injectie in Twente
Elektriciteit injectie, Mwhe/jaar	13.028	13.028	13.028	13.028	13.028
HCl (100%), ton/jaar				3.650	
ClO_2 (20%), ton/jaar				2.778	

Daarnaast worden door NAM in totaal drie varianten zonder zuivering overwogen waarin in toenemende mate resistente materialen worden toegepast zodat minder biocide of minder biocide en zwavelwaterstofbinder benodigd zijn. Het gebruik van mijnbouwhulpstoffen per variant wordt gegeven in Tabel 14.

De manier waarop de milieubelasting van productie van mijnbouwhulpstoffen is gemodelleerd wordt beschreven in Bijlage B.1.

Tabel 14 Overzicht van mijnbouwhulpstoffen gebruik voor Alternatieven 4.1 t/m 4.4 (waarden voor 2020-2025)

Alternatief/variant	4.1	4.2	4.3	4.4
Anti-corrosievloeistof	175	175	175	175
Biocide	1.168	0	0	0
Anti-aanslagvloeistof	0,1	0,1	0,1	0,1
Anti-(bariumsulfaat) aanslagvloeistof	88	88	88	88
Zuurstofbinder	26	26	26	26
Waterreiniger	19	19	19	19
Emulsiebreker	12	12	12	12
Anti-schuimmiddel	0,1	0,1	0,1	0,1
Zwavelwaterstofbinder	350	350	0	0
Totaal	1.838	670	320	320

3.6 Vergelijken op basis van verbruiken en reststromen

Een samenvattend overzicht van gebruiken aan energie, chemicaliën en mijnbouwhulpstoffen en van reststromen is gegeven in Tabel 15.

Zoals in de tabel geïllustreerd vraagt opwerken van het productiewater minimaal 17 maal meer energie (Salttech-variant) en ook chemicaliën, die over het algemeen niet worden ingezet bij injectie (behalve in Variant 4.4). Ook worden bij twee van de drie varianten van Alternatief 1 (zout afscheiden) H_2S-rijk stripgas geproduceerd dat volgens de huidige opzet van deze varianten wordt meeverbrand bij stoomproductie en daarbij een aanzienlijke SO_2-emissie veroorzaakt.

Tegenover deze extra consumpties in Alternatief 1 staat dat gebruik van mijnbouwhulpstoffen lager is en dat een deel van het zout in het productie-water als herbruikbaar product wordt afgescheiden. Zoals aangegeven in voorgaande paragrafen is het daaraan gerelateerde energiegebruik echter een veelvoud van het energiegebruik bij conventionele industriële productie. Bovendien moet – zoals het zich nu laat aanzien – nog een aanzienlijk deel van de uit het productiewater verwijderde zouten (ruim 20%, Variant TU Delft) zout worden gestort.

Tabel 15 Overzicht van geconsumeerde en geproduceerde hoeveelheden (waarden voor 2020-2025)

	Alt 1.1 Tussen-rapport	Alt 1.2, Salttech	Alt 1.3, TU Delft	Alt 4.1	Alt 4.2	Alt 4.3	Alt 4.4
Elektriciteit (Mwhe/jaar)	114.292	152.386	84.444	13.028	13.028	13.028	13.028
Stoom (GJ/jaar)	920.014	242.725	646.000				
Mijnbouwhulpstoffen (ton/jaar)							
- biociden				1.168	0	0	0
- andere	136	136	136	670	670	320	320
Chemicaliën en hulpstoffen (ton/jaar)	3.245	2.265	3.274				6.428
Reststoffen, ton/jaar							
- hergebruik	194	35.953	58.129				
- lozing in effluent	2.306			75.277	74.109	73.759	79.405
- stripgas	781	781					781
- injectie in ondergrond	0						
- storten	73.155	34.894	17.526				

4 Milieuthema scores en weging

4.1 Inleiding

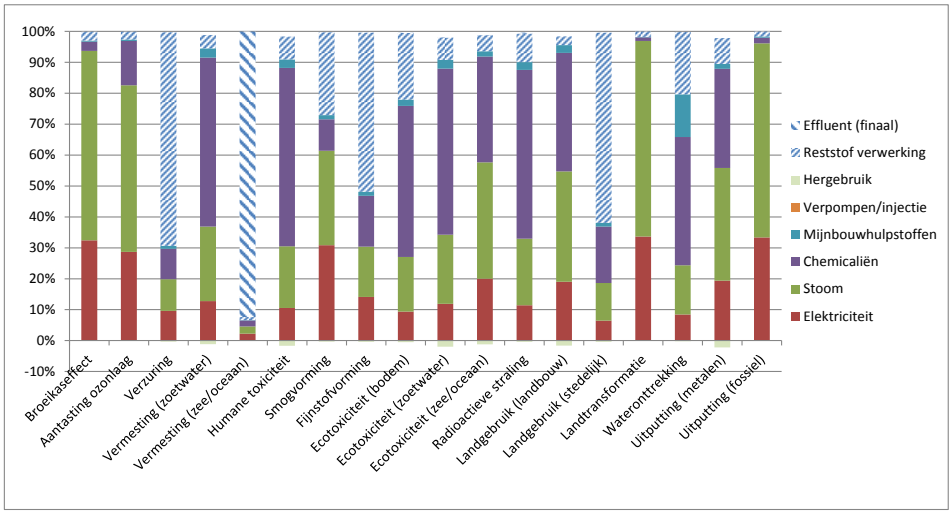
In dit hoofdstuk wordt voor elk van de routes weergegeven hoe de milieu-impacts per thema zijn opgebouwd en welke milieuthema's het meeste bijdragen volgens de verschillende weegmethoden. Een vergelijking tussen alle alternatieven wordt gemaakt in Paragraaf 4.4. Voor elk alternatief worden de relatieve bijdragen van input- en output- categorieën aan elk milieuthema in beeld gebracht, evenals de relatieve, gewogen bijdrage van milieuthema's aan de 'totale milieu-impact' volgens een drietal weegmethodes (zie Bijlage A.1 voor meer informatie). Deze resultaten worden weergegeven voor ijkjaar 2022 (c.q. periode 2020-2025).

4.2 Alternatief 1: zuivering

4.2.1 Alternatief 1.1, Tussenrapport-variant

Voor deze zuiveringsroute zijn energie (elektriciteit en stoom) en productie van chemicaliën en mijnbouwhulpstoffen de grootste factoren in de totale milieu-impacts, hoewel op enkel thema's ook de berging van reststoffen bijdraagt (Figuur 8).

Figuur 8 Relatieve bijdragen van categorieën aan milieuthema's voor Alternatief 1, Variant 1.1 Tussenrapport



Toelichting: De totale gesommeerde bijdrage aan een milieuthema vertegenwoordigt 100%. De staafdiagrammen geven de relatieve opbouw van de gesommeerde bijdrage.

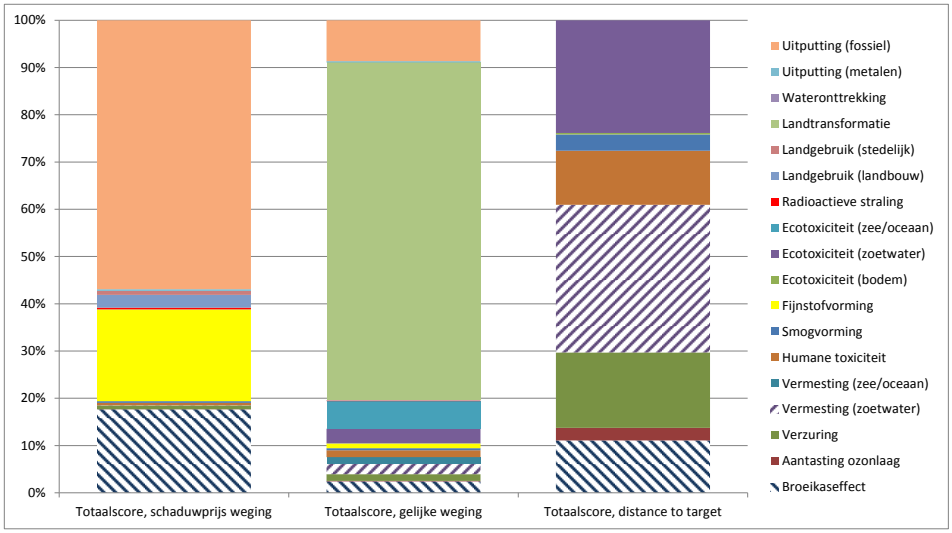
De bijdrage aan het thema verzuring wordt veroorzaakt door de verbranding van stripgas. De bijdrage is gerelateerd aan de emissie van SO_2.
Deze wordt gevormd door verbranding van H_2S in het stripgas. Gezien de gevormde hoeveelheid SO_2 (0,31 ton/dag, 114 ton/jaar) is het waarschijnlijk dat bij daadwerkelijke implementatie conform BAT REF, emissie-eisen en

luchtkwaliteitseisen de in het stripgas aanwezige H_2S zal (moeten) worden uitgewassen en omgezet in elementaire zwavel.
Lozing van het effluent heeft alleen een duidelijke bijdrage aan vermesting vanwege gehalte aan stikstof en ammonium. Hergebruik van ammoniumsulfaat geeft een kleine negatieve – dat wil zeggen: vermeden - bijdrage[8].
De absolute scores per categorie en thema zijn te vinden in Bijlage C.2.

Zoals Figuur 9 laat zien, geven verschillende weegmethoden sterk verschillende accenten in de zin van de belangrijkste milieuthema's. Zoals gezegd (zie Bijlage A.1 is de distance-to-target-methode waarschijnlijk achterhaald. Ook de gelijke weging en de schaduwprijsweging geven echter een behoorlijk verschillend beeld. De score met gelijke weging wordt gedomineerd door landtransformatie die samenhangt met gaswinning, van aardgas dat wordt ingezet in de WKC. De landtransformatie betreft het ruimtegebruik voor de gasproductielocatie en voor de gasbehandelingsinstallatie – beide zeer klein per eenheid aardgas.

In deze weging speelt ook 'stofvorming' (Particulate Matter Formation) een rol en de score op dit thema wordt voor de helft veroorzaakt door verbranding van stripgas (categorie 'rejects' in Figuur 8 en Figuur 9). De SO_2-emissie als het gevolg van verbranding van H_2S leidt tot vorming van zogeheten secundaire aerosolen of secundair stof, dat effect kan hebben op de gezondheid.

Figuur 9 **Relatieve bijdragen van de milieuthema's aan totale gewogen milieuscores voor Alternatief 1, Variant 1.1, Tussenrapport**



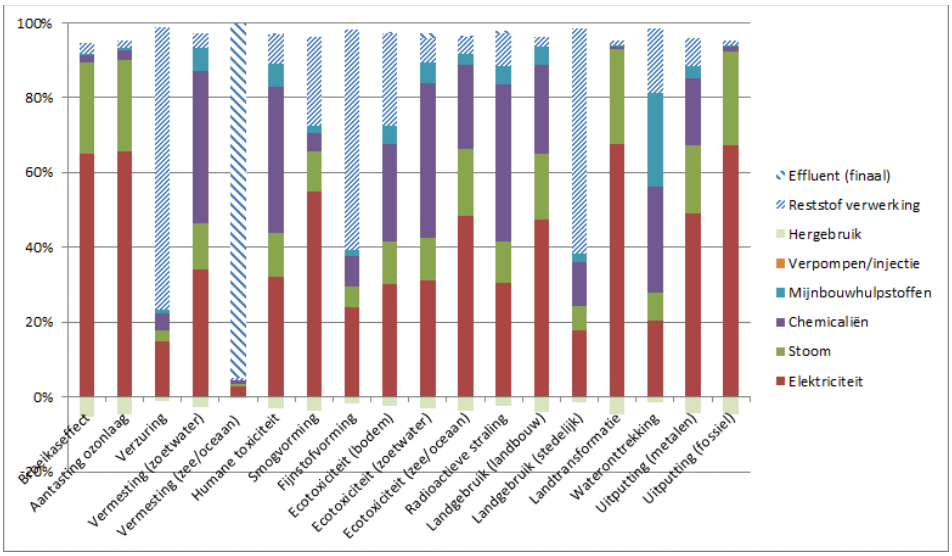
Toelichting: De totale gesommeerde bijdrage aan een milieuthema vertegenwoordigt 100%. De staafdiagrammen geven de relatieve opbouw van de gesommeerde bijdrage

8 Negatieve milieu-impacts ontstaan door het vermijden van bepaalde processen die nodig zouden zijn geweest om het materiaal in primaire vorm te produceren.

4.2.2 Alternatief 1.2, Variant Salttech

Energiegebruik en met name elektriciteitsgebruik domineren het milieuprofiel, hoewel verwerking van reststoffen (verbranding van stripgas en stort van gemengd zout) op een paar thema's de grootste bijdrage laat zien Figuur 10. De bijdrage aan het thema verzuring wordt veroorzaakt door de verbranding van stripgas, zoals ook besproken voor de Tussenrapport-variant.

Figuur 10 Relatieve bijdragen van categorieën aan milieuthema's voor Alternatief 1, Variant 1.2 Salttech



Toelichting: De totale gesommeerde bijdrage aan een milieuthema vertegenwoordigt 100%. De staafdiagrammen geven de relatieve opbouw van de gesommeerde bijdrage.

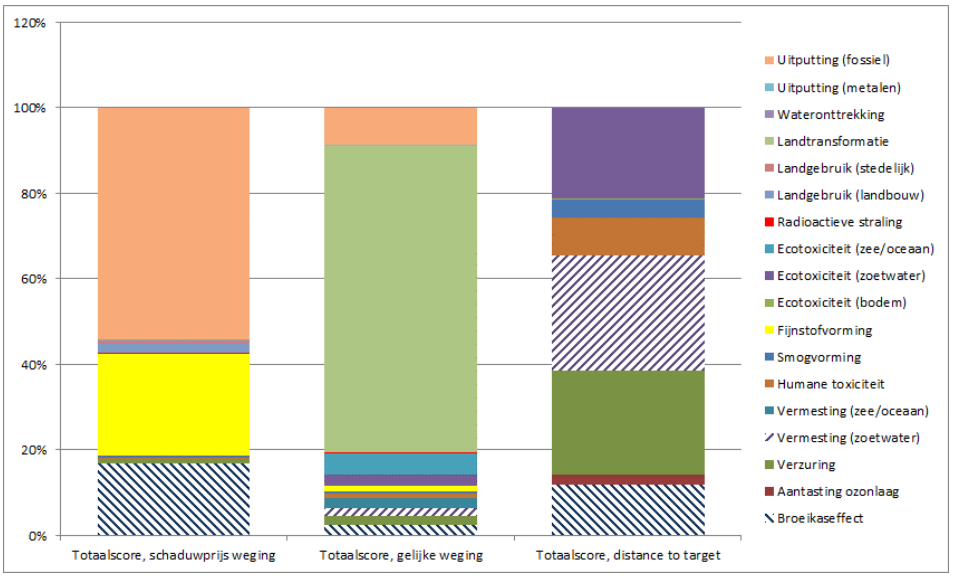
In deze variant wordt een deel van het aanwezige NaCl teruggewonnen, wat leidt tot productie van iets minder dan 100 ton per dag als strooizout herbruikbaar zout. Hergebruik van dit zout leidt tot een bescheiden milieuwinst (negatieve impacts) op met name klimaatverandering, ozonafbraak, fotochemische oxidantvorming (zomersmog) en de aan aardgasproductie gerelateerde landgebruik en landtransformatie. De uitgespaarde milieubelasting is relatief beperkt vanwege het vrijwel optimale energiegebruik bij conventionele productie van NaCl (zie Bijlage B.4):

- Het energiegebruik per eenheid strooizout bij conventionele productie bedraagt circa 1,7 GJ/ton aan lage drukstoom van een gasgestookte stoomketel WKC met tegendrukstoomturbine (gerelateerde CO_2-emissie = 80 kg/ton NaCl).
- Het indampen van NaCl met de DyVaR-technologie vergt 7,4 GJe/ton NaCl (verbruik DyVaR 1) waarbij de stroom wordt geproduceerd met een gasturbine-afgassenketel WKC met bijstook in de afgassenketel (gerelateerde CO_2-emissie = 540 kg/ton NaCl).

De absolute scores per categorie en thema zijn te vinden in Bijlage C.2.

Uit de gewogen totaalscores (Figuur 11) komt naar voren dat energie inderdaad domineert, maar ook het verbranden van stripgas (rejects, grote bijdrage aan verzuring en stofvorming) en het gebruik chemicaliën (zoetwater vermesting en ecotoxiciteit) spelen een rol.

Figuur 11 Relatieve bijdragen van de milieuthema's aan totale gewogen milieuscores voor Alternatief 1, Variant 1.2 Salttech

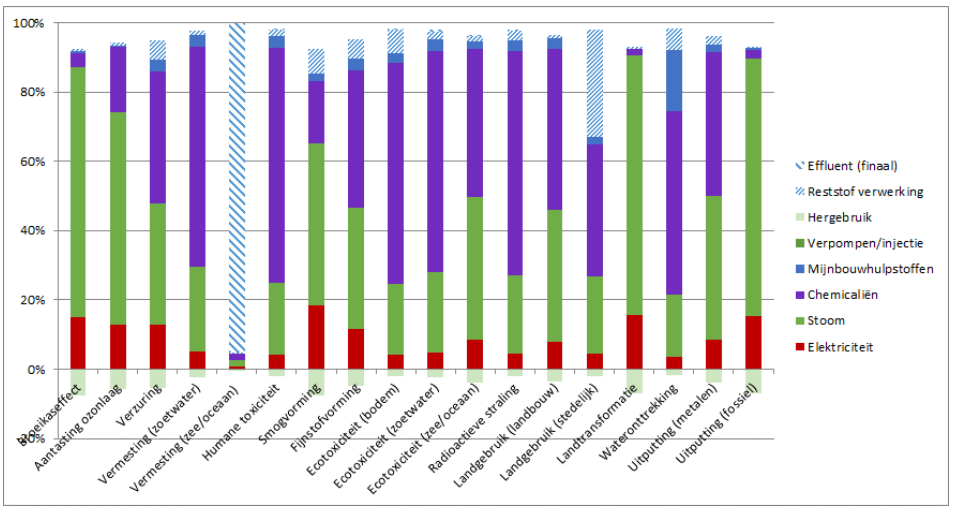


Toelichting: De totale gesommeerde bijdrage aan een milieuthema vertegenwoordigt 100%.
De staafdiagrammen geven de relatieve opbouw van de gesommeerde bijdrage.

4.2.3 Alternatief 1.3, Variant TU Delft

Data voor deze variant zijn geschat door NAM op basis van procesontwerp en de resultaten hebben daardoor veel grotere onzekerheid dan de resultaten voor andere alternatieven. De resultaten moeten als indicatief worden beschouwd.

Figuur 12 Relatieve bijdragen van categorieën aan milieuthema's voor Alternatief 1, Variant 1.3 TU Delft

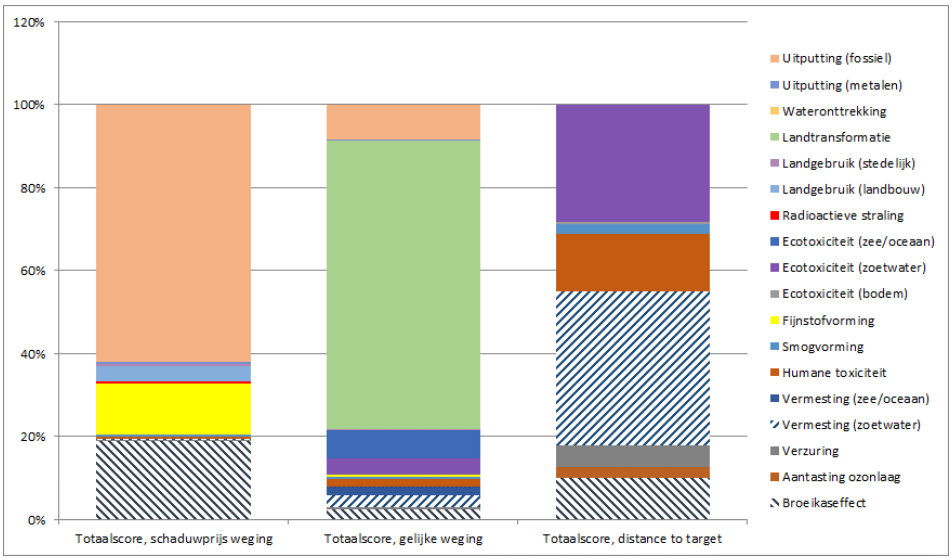


Toelichting: De totale gesommeerde bijdrage aan een milieuthema vertegenwoordigt 100%.
De staafdiagrammen geven de relatieve opbouw van de gesommeerde bijdrage.

Er is aangenomen dat de maximale hoeveelheid NaCl kan worden terug-gewonnen door middel van membraanscheiding en dat deze productie van ongeveer 160 kton per dag in volledigheid kan worden ingezet als strooizout. Dit is theoretisch mogelijk. Rijkswaterstaat rapporteert ongeveer 200 kton op voorraad te hebben (zie ook Bijlage B.3).

Om de praktische haalbaarheid van afzet te bepalen zou in meer detail moeten worden bekeken welk gemiddeld gebruik per winterseizoen zou worden verwacht over de productieperiode van enkele decennia.
De gewogen totaalscore laat eenzelfde beeld zien als voor de Salttech-variant, maar zonder de grote bijdrage van verzuring in de distance-to-target-weging, omdat er geen sprake is van verbranding stripgas in deze variant.

Figuur 13 Relatieve bijdragen van de milieuthema's aan totale gewogen milieuscores voor Alternatief 1, Variant 1.3 TU Delft



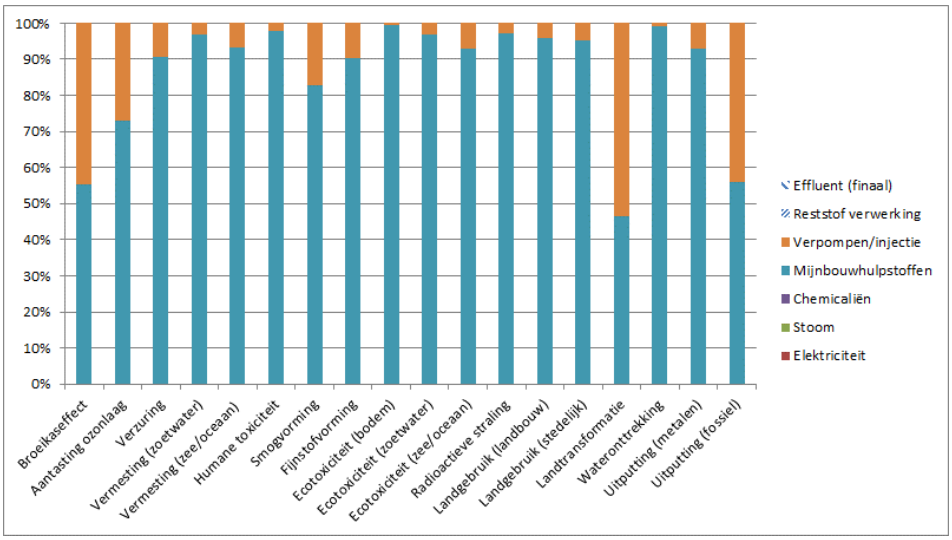
Toelichting: De totale gesommeerde bijdrage aan een milieuthema vertegenwoordigt 100%.
De staafdiagrammen geven de relatieve opbouw van de gesommeerde bijdrage.

4.3 Alternatief 4: injectie

4.3.1 Variant 4.1

Voor deze route wordt uitgegaan van injectie met gebruik van de huidige pijplijn, met minimale aanpassingen. Dat betekent dat zowel biocide als H_2S-afvanger gebruikt worden. Voor de meeste milieuthema's is de bijdrage van productie van deze chemicaliën, met name biocide, verreweg het grootst. Alleen op de thema's klimaat, landtransformatie en fossiele uitputting heeft het energieverbruik voor verpompen en injectie een duidelijke bijdrage (Figuur 14).

Figuur 14 Relatieve bijdragen van categorieën aan milieuthema's voor Alternatief 4, Variant 4.1 (met biociden)

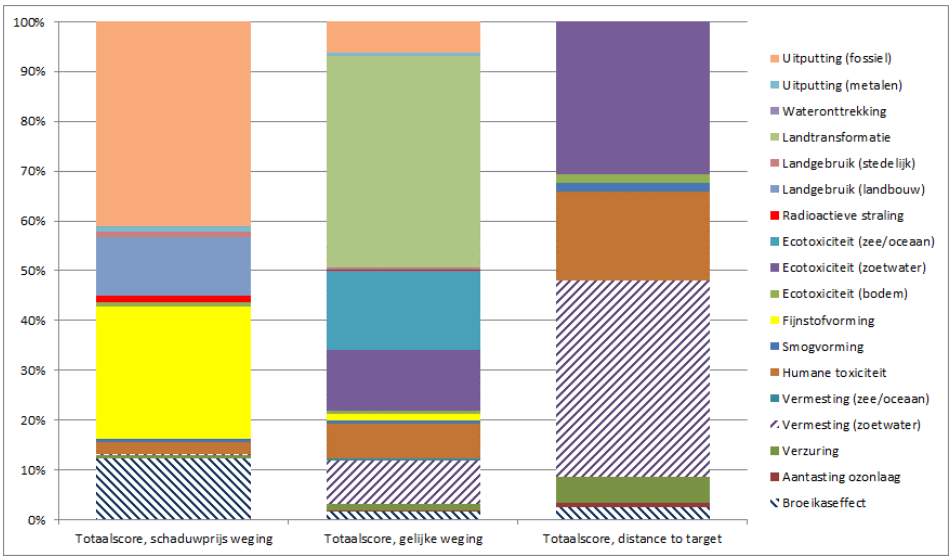


Toelichting: De totale gesommeerde bijdrage aan een milieuthema vertegenwoordigt 100%. De staafdiagrammen geven de relatieve opbouw van de gesommeerde bijdrage.

De gewogen totaalscores laten zien dat de mijnbouwhulpstoffen, en daarin met name biocide, domineren. De grootste bijdragen aan de schaduwprijs en gelijk gewogen score zijn weliswaar energiegerelateerde thema's (klimaat, fossiele uitputting en landtransformatie) maar de andere thema's zijn grotendeels gekoppeld aan de productie van mijnbouwhulpstoffen. De distance-to-target-weging geeft vrijwel alle gewicht aan mijnbouwhulpstoffen, met name het chloorhoudende biocide.

In de keten van chloorhoudende chemicaliën treden emissies van zware metalen op bij mijnbouwprocessen, die tot impacts op humane toxiciteit en ecotoxiciteit leiden en daarmee tot hoge distance-to-target-score.

Figuur 15 **Relatieve bijdragen van de milieuthema's aan totale gewogen milieuscores voor Alternatief 4, Variant 4.1**

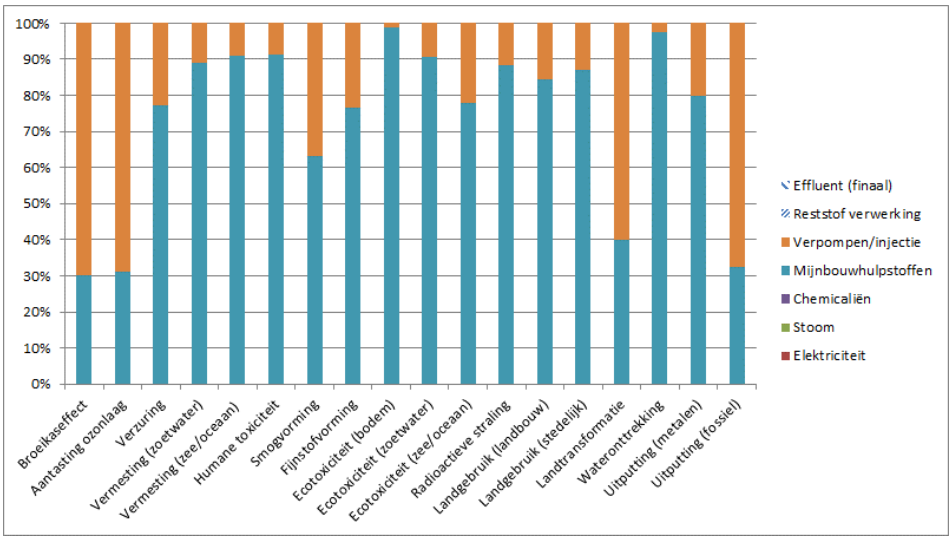


Toelichting: De totale gesommeerde bijdrage aan een milieuthema vertegenwoordigt 100%.
De staafdiagrammen geven de relatieve opbouw van de gesommeerde bijdrage.

4.3.2 Variant 4.2

Het verschil met 4.1 is dat in deze route 4.2 geen biocide als mijnbouw-hulpstof wordt ingezet. Dit vergt verdere aanpassingen aan de pijplijn, maar evenals bij de andere varianten is aanleg van nieuwe infrastructuur en installaties voor voorgrondprocessen niet meegenomen. In het algemeen geven dergelijke kapitaalgoederen een kleine bijdrage aan het totale milieuprofiel aangezien de aanleg over decennia worden afgeschreven en de processen zelf relatief energie intensief zijn.
Energieverbruik voor verpompen en injectie geeft de grootste bijdrage op de energie gerelateerde thema's maar de productie van de andere mijnbouw-hulpstoffen heeft nog steeds een zeer belangrijke bijdrage op de meeste thema's.

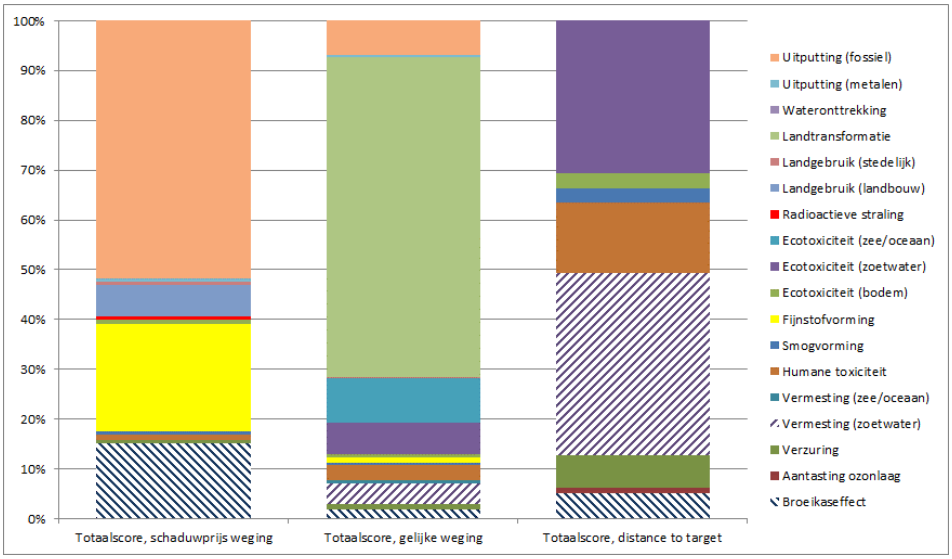
Figuur 16 **Relatieve bijdragen van categorieën aan milieuthema's voor Alternatief 4, Variant 4.2 (geen biociden)**



Toelichting: De totale gesommeerde bijdrage aan een milieuthema vertegenwoordigt 100%.
De staafdiagrammen geven de relatieve opbouw van de gesommeerde bijdrage.

De gewogen totaalscores laten een zelfde beeld zien als voor Variant 4.1 met een iets grotere bijdrage van energiegerelateerde thema's (klimaat, fossiele uitputting en landtransformatie) in de schaduwprijs- en gelijk gewogen scores.

Figuur 17 Relatieve bijdragen van de milieuthema's aan totale gewogen milieuscores voor Alternatief 4, Variant 4.2

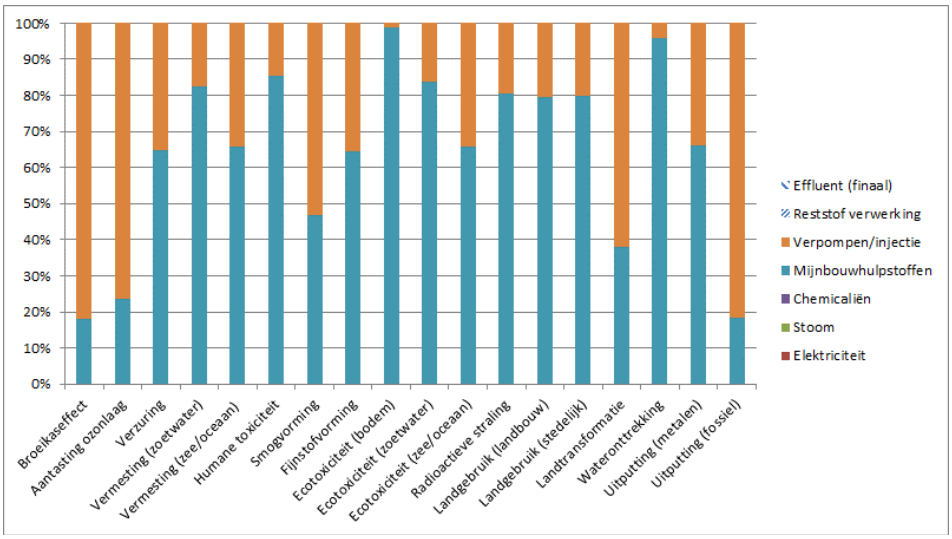


Toelichting: De totale gesommeerde bijdrage aan een milieuthema vertegenwoordigt 100%.
De staafdiagrammen geven de relatieve opbouw van de gesommeerde bijdrage.

4.3.3 Variant 4.3

In deze route wordt noch biocide noch H_2S-afvanger ingezet, hetgeen betekent dat waterstofsulfide in het effluent aanwezig blijft. Het hieraan gerelateerde risico op vrijkomen van H_2S naar de biosfeer bij lekkende pijpleiding wordt geëvalueerd in het door Royal HaskoningDHV opgestelde rapport.
De resterende mijnbouwhulpstoffen hebben nog steeds een belangrijke bijdrage op een groot aantal thema's, maar verpompen en injectie (in oranje) hebben een veel grotere relatieve bijdrage dan voor Varianten 4.1 en 4.2.

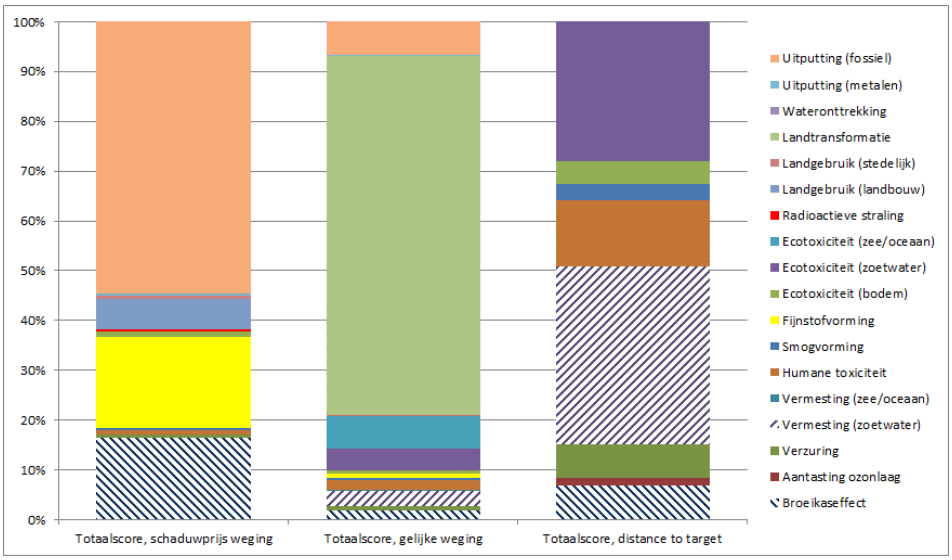
Figuur 18 Relatieve bijdragen van categorieën aan milieuthema's voor Alternatief 4, Variant 4.3



Toelichting: De totale gesommeerde bijdrage aan een milieuthema vertegenwoordigt 100%.
De staafdiagrammen geven de relatieve opbouw van de gesommeerde bijdrage.

Dit zien we ook in de gewogen totaalscores, met een wederom grotere bijdrage van energiegerelateerde milieuthema's.

Figuur 19 Relatieve bijdragen van specifieke processen aan totale gewogen milieuscores voor Alternatief 4, Variant 4.3



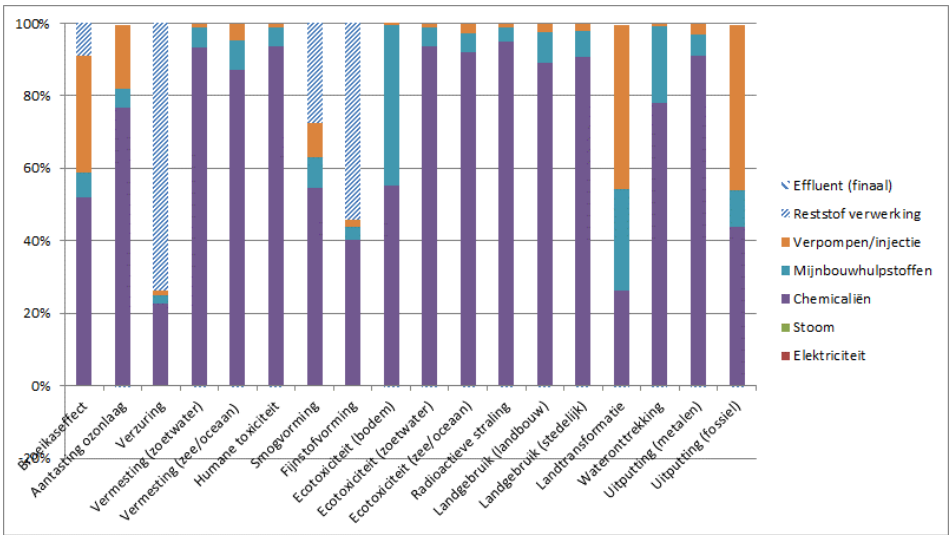
Toelichting: De totale gesommeerde bijdrage aan een milieuthema vertegenwoordigt 100%.
De staafdiagrammen geven de relatieve opbouw van de gesommeerde bijdrage.

4.3.4 Variant 4.4

In deze variant wordt de feed enigszins gezuiverd, voordat injectie plaats vindt. Biociden en H_2S-afvanger hoeven in deze route niet te worden ingezet, maar er worden nog wel andere mijnbouwhulpstoffen gebruikt.

De verbranding met energieterugwinning van gas van de ontgassingsstap geeft een significante bijdrage in een paar thema's (bijdragen gearceerd = rejects) maar ook een negatieve impact (milieuwinst) in enkele andere thema's. Dit laatste is echter te klein om in de figuur te zien.

Figuur 20 Relatieve bijdragen van categorieën aan milieuthema's voor Alternatief 4, Variant 4.4

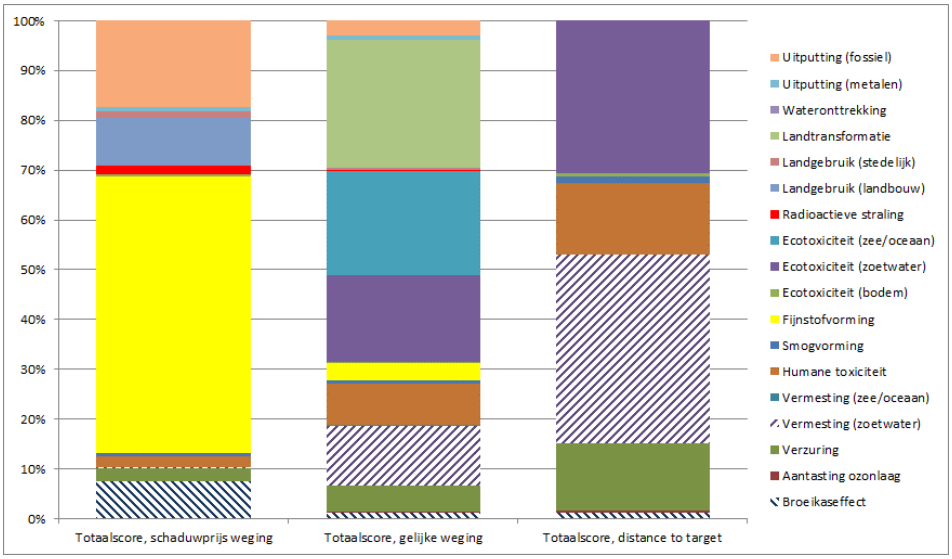


Toelichting: De totale gesommeerde bijdrage aan een milieuthema vertegenwoordigt 100%.
De staafdiagrammen geven de relatieve opbouw van de gesommeerde bijdrage.

Energiegebruik voor injectie is te zien in een aantal milieuthema's, maar het gebruik van chemicaliën voor de verwijdering van H_2S, tolueen en CO_2 uit de feed domineert voor de meeste milieuthema's. Het grootste deel hiervan komt voor rekening van de productie van HCl en ClO_2. In de keten van chloor-houdende chemicaliën treden emissies van zware metalen op bij mijnbouw-processen, die tot impacts op humane toxiciteit en ecotoxiciteit leiden en daarmee tot hoge distance-to-target-score.

De schaduwprijsscore wordt voor meer dan de helft bepaald door het thema stofvorming (Figuur 21), dat optreedt zowel in de productieketen van chemicaliën als bij de verbranding van stripgas (zie ook Figuur 20).

Figuur 21 Relatieve bijdragen van de milieuthema's aan totale gewogen milieuscores voor Alternatief 4, Variant 4.4



Toelichting: De totale gesommeerde bijdrage aan een milieuthema vertegenwoordigt 100%. De staafdiagrammen geven de relatieve opbouw van de gesommeerde bijdrage.

De energie gerelateerde thema's spelen een veel kleinere rol dan in Variant 4.3. Dit verschil is het minst duidelijk voor de distance-to-target-weging omdat die weging sowieso door de productieketen van chemicaliën wordt gedomineerd.

4.4 Vergelijking van absolute milieu-impacts

De vergelijking van de verschillende opties wordt gemaakt op basis van de absolute resultaten per milieuthema, evenals op basis van gewogen totaal-scores. Tabel 16 geeft voor alle zeven beschouwde alternatieven met varianten de totale score per milieuthema weer. De rode cijfers geven de laatste score per thema aan.

Tabel 16 Absolute resultaten per milieuthema en per variant (zichtperiode 2020-2025)
Rode cijfers geven laagste score per milieuthema aan

Resultaten 2022	Unit	Alt 1.1 Tussen-rapport	Alt 1.2, Salttech	Alt 1.3 TU Delft	Alt 4.1	Alt 4.2	Alt 4.3	Alt 4.4
Broeikaseffect	kg CO_2 eq	276.956	164.697	174.679	22.736	14.543	12.419	31.483
Aantasting ozonlaag	kg CFC_{-11} eq	0,025	0,013	0,017	0,003	0,001	0,001	0,005
Verzuring	kg SO_2 eq	491	422	114	58	24	15	420
Vermesting (zoetwater)	kg P eq	9	5	8	4	1,3	0,8	12
Vermesting (zee/oceaan)	kg N eq	139	145	144	5	4	1	8
Humane toxiciteit	kg 1,4-DB eq	9.360	4.027	7.915	5.335	1.335	802	12.098
Smogvorming	kg NMVOC	252	176	123	51	24	17	91
Fijnstofvorming	kg PM_{10} eq	148	114	56	24	10	7	114
Ecotoxiciteit (bodem)	kg 1,4-DB eq	4	1,5	2,8	6	4	4	8
Ecotoxiciteit (zoetwater)	kg 1,4-DB eq	341	171	286	160	50	29	446
Ecotoxiciteit (zee/oceaan)	kg 1,4-DB eq	514	268	389	168	54	35	419
Radioactieve straling	kBq U235 eq	3.216	1.558	2.615	1.444	355	214	4.117
Landgebruik (landbouw)	m^2a	1.733	886	1.370	899	248	187	1.668
Landgebruik (stedelijk)	m^2a	538	257	250	83	31	20	203
Landtransformatie	m^2	117	70	74	8,3	7,4	7,2	10
Wateronttrekking	m^3	725	391	551	898	277	170	757
Uitputting (metalen)	kg Fe eq	1.969	994	1468	629	225	134	1443
Uitputting (fossiel)	kg oil eq	135.808	81.283	87.053	11.652	7.596	6.277	11082

We zien dat Variant 4.3 in verreweg de meeste categorieën de laagste score heeft. Op enkele categorieën scoort zelfs Alternatief 1, Tussenrapport-variant, lager dan injectiealternatief Variant 4.4, met name wat betreft toxische emissies die in Variant 4.4 optreden vanwege de productie van belangrijke hoeveelheden HCl en ClO_2.

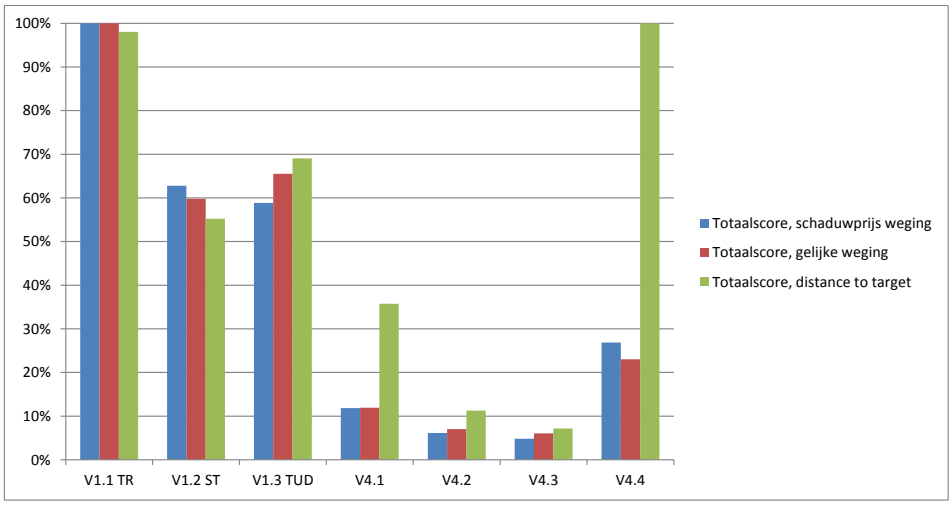
4.5 Vergelijking gewogen impacts

Op basis van absolute milieuscores kan strikt genomen geen eenduidig beste variant worden aangewezen omdat op één thema de Salttech-variant het beste scoort. Weegmethodes geven elk milieuthema een bepaald gewicht, zodat wel een eenduidig beeld ontstaat, maar elke weging is gebaseerd op subjectieve waarden (zie Bijlage A.1).

De schaduwprijsweging en de gelijke weging geven een vrijwel identiek beeld van de rangorde van de varianten. Alleen de positie van de Salttech- en de TU Delft-varianten is anders maar de scores zijn vergelijkbaar. Gezien de onzekerheid in de gegevens voor de TU Delft-variant kan op dit moment niet gezegd worden of deze beter of slechter scoort dan de Salttech-variant (zie ook Figuur 23).

De distance-to-target-weging geeft een ander beeld. Variant 4.4 heeft hier de hoogste score, ten opzichte van vierde plaats in de andere wegingen. Ook Variant 4.1 scoort relatief veel hoger ten opzichte van Variant 4.2 en Variant 4.3 dan in de andere wegingen. Figuur 24 laat de opbouw van de gewogen score voor deze varianten in meer detail zien.

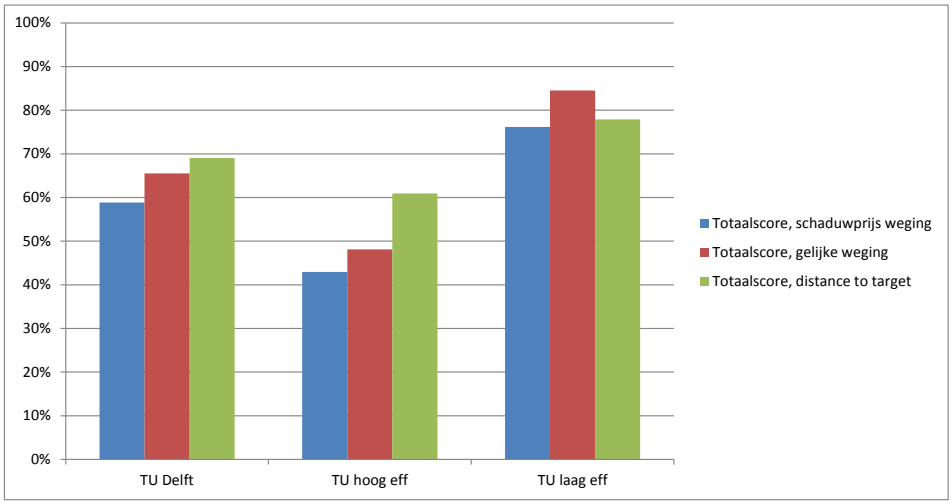
Figuur 22 Vergelijking van gewogen totaalscore per variant (zichtjaar 2022)



Toelichting: Per weegmethodiek is de hoogste gewogen bijdrage van de verschillende varianten gewaardeerd als 100%. De gewogen bijdragen van de andere varianten zijn ten opzichte van deze maximale score uitgedrukt als percentage van de maximale score.

De TU Delft-variant is gemodelleerd met diverse nog onzekere parameters. De efficiëntie van de membraanscheiding is één van deze parameters, die sterk invloed heeft op de hoeveelheid energie die nodig zal zijn. In een hoog efficiënt scenario zou de score van deze variant volgens schaduwprijsweging en gelijke weging aanmerkelijk lager zijn dan de Salttech-variant. In een laag efficiënt scenario zou de score voor gelijke weging bijna zo hoog zijn als voor de Tussenrapport-variant van Alternatief 1, en alle gewogen scores aanmerkelijk hoger dan voor de Salttech-variant.

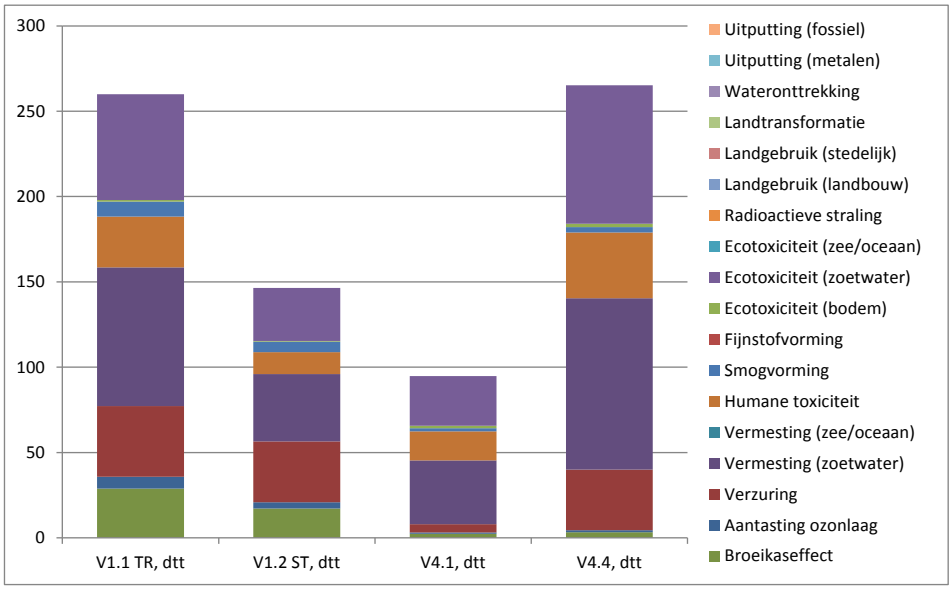
Figuur 23 Vergelijking van gewogen totaalscore voor scenario's voor TU Delft-variant met hoge en lage efficiëntie (zichtjaar 2022). De normalisatie is dezelfde als in Figuur 22



Zoals gezegd wordt in detail gekeken naar de opbouw van de distance-to-target scores voor Varianten 1.1, 1.2, 4.1 en 4.4 in Figuur 25Figuur 24. Voor alle varianten spelen vermesting (zoetwater), humane toxiciteit en ecotoxiciteit (zoetwater) een grote rol. Daarnaast laten drie varianten een significante gewogen impact op verzuring zien, als gevolg van de verbranding

van stripgas. Variant 1.1 en in mindere mate 1.2 hebben ook een duidelijk bijdrage van broeikaseffect, als gevolg van het hogere energiegebruik in deze varianten.

Figuur 24 Opbouw van distance-to-target gewogen milieuscore voor Varianten 1.1, 1.2, 4.1 en 4.4 (zichtjaar 2022). Deze score is dimensieloos



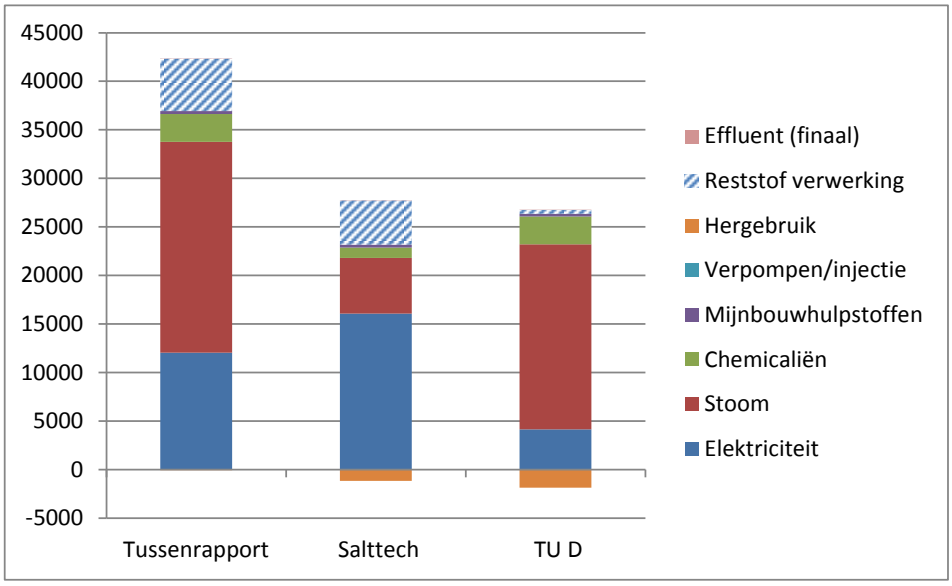
De hoge scores op vermesting (zoetwater), humane toxiciteit en ecotoxiciteit (zoetwater) voor Variant 4.4 worden voor ruim 90% veroorzaakt door productie van HCl en ClO_2, zoals ook genoemd in Paragraaf 4.3.4. Verandering in de gebruikte hoeveelheid van deze twee chemicaliën of toepassen van andere processen voor verwijdering van H_2S (dan door oxidatie met ClO_2) zou een sterk effect hebben op de distance-to-target-score voor Variant 4.4. Alternatieve opties voor H_2S verwijdering zouden toepassen van ultraviolette straling, gebruik van ozon of een combinatie van beide kunnen zijn. Het is echter niet zeker dat hiermee eenzelfde mate van verwijdering als met ClO_2 kan worden gehaald.

4.5.1 Bijdrage per categorie

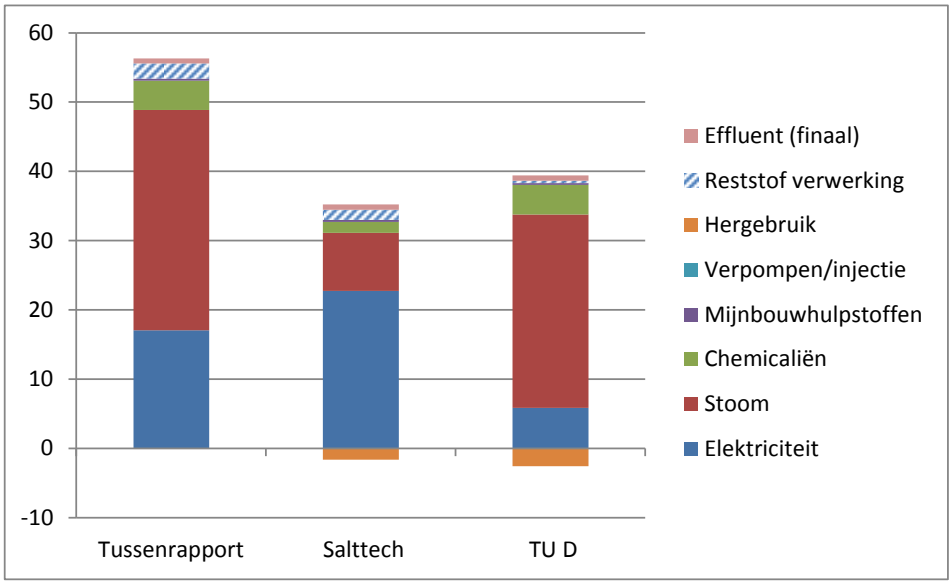
Het is interessant ook te kijken naar hoe de verschillende procescategorieën bijdragen aan de schaduwprijs- en gelijk gewogen scores (zie Paragraaf 5.1 voor keus voor deze twee wegingen).

De varianten van Alternatief 1 worden voor het overgrote deel bepaald door energiegebruik, zoals de blauwe en rode bijdragen aan de staafdiagrammen laten zien (Figuur 25 en Figuur 26). De negatieve bijdrage (milieuwinst) van hergebruik van zout is groter voor de TU Delft-variant, omdat de hoeveelheid teruggewonnen zout aanmerkelijk groter is.

Figuur 25 **Opbouw van schaduwprijsgewogen milieuscore voor Varianten 1 (zichtjaar 2022)**
Eenheid van deze score is € (per dag productie)

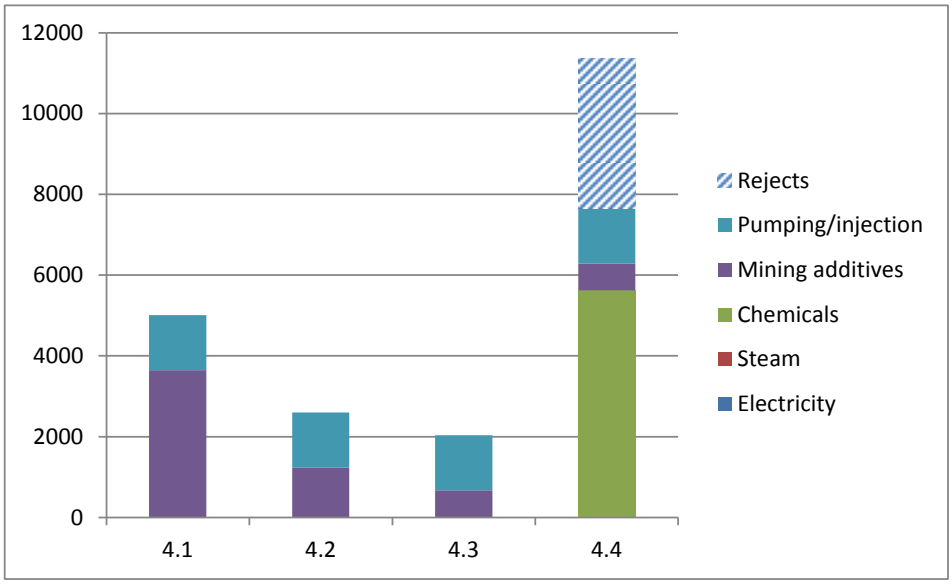


Figuur 26 **Opbouw van gelijk gewogen milieuscore voor Varianten 1 (zichtjaar 2022)**
Eenheid van deze score is 'persoon·jaar' (zie Bijlage A.1)

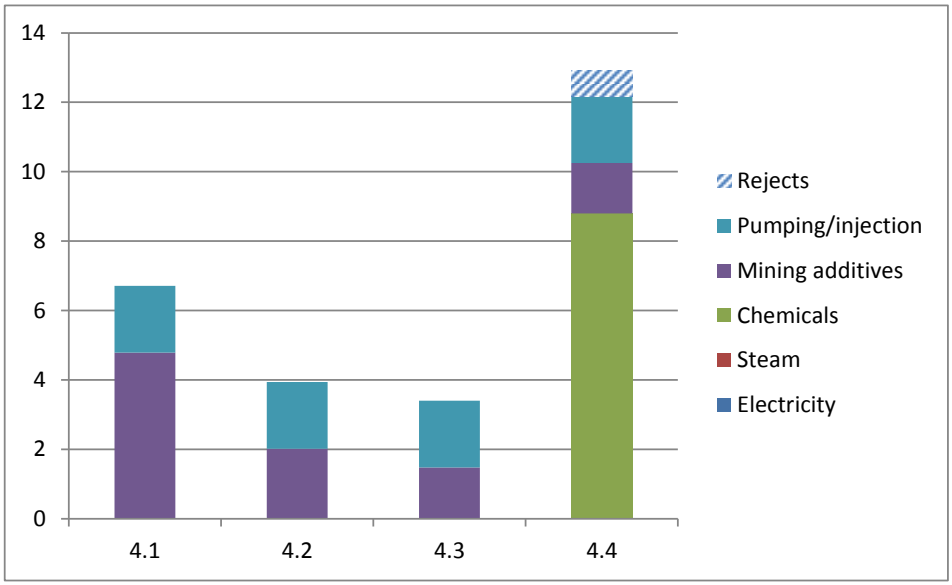


De varianten van Alternatief 4 worden voor minstens de helft bepaald door het gebruik van mijnbouwhulpstoffen en chemicaliën (Figuur 27 en Figuur 28).
De verbranding van stripgas ('rejects') telt ook zwaar mee in de schaduw-prijsscore voor 4.4; het gaat hierbij emissies die tot vorming van secondair stof leiden (deze bijdrage is ook in de Tussenrapport- en Salttech-varianten hierboven te zien). In de gelijke weging telt deze bijdrage minder zwaar mee (Figuur 28).

Figuur 27 **Opbouw van schaduwprijsgewogen milieuscore voor Varianten 4 (zichtjaar 2022)**
Eenheid van deze score is € (per dag productie)



Figuur 28 **Opbouw van gelijkgewogen milieuscore voor Varianten 4 (zichtjaar 2022)**
Eenheid van deze score is 'persoon·jaar' (zie Bijlage A.1)



5 Discussie

5.1 Interpretatie van de resultaten

Alleen in de situatie waarin één variant op alle milieuthema's het laagste scoort kan gezegd worden dat dit eenduidig de beste optie is. De resultaten in het vorige hoofdstuk laten zien dat dit bijna het geval is, met uitzondering van de lage score van de Salttech-variant op het thema bodemecotoxiciteit. Alle drie de wegingen laten echter een consistent beeld zien waarin Varianten 4.2 en 4.3 duidelijk het laagst scoren. Deze beide injectievarianten zijn de beste keus wat betreft totale milieu impacts.

Door het niet toepassen van H_2S-afvanger in Variant 4.3 zal er in Variant 4.3 H_2S in het productiewater aanwezig zijn. In het door Royal HaskoningDHV opgestelde rapport wordt nader ingegaan op de risico's die dit eventueel geeft bij lekkage aan transportleidingen.

De rangorde tussen de varianten van Alternatief 1 en Variant 4.4 is niet geheel eenduidig, omdat één van de drie wegingen hier een tegengesteld beeld geeft. Met de distance-to-target (dtt) weging zijn de scores van Variant 1.1 en 4.4 vrijwel gelijk terwijl de andere twee wegingen een belangrijk lagere score geven voor Variant 4.4. Van de drie gebruikte wegingen zijn de schaduw-prijzenweging en gelijke weging echter het meest relevant voor deze studie. De eerste kijkt met economische bril naar de diverse milieu-impacts en de tweede kijkt naar hoe de impacts van deze activiteit (namelijk het zuiveren en/of bewerken plus lozing of injectie van productiewater) zich verhouden tot de impacts van andere activiteiten gemiddeld.

De dtt-weging is niet alleen enigszins achterhaald (zie Bijlage A.1) maar bovendien getekend door de context van afvalbeleid als onderdeel van het Landelijk Afvalbeheerplan dat in 2002 van start ging. De destijds gebruikte doelstellingen, waarvan de distance-to-target-factoren werden afgeleid, zijn inmiddels anders. Bovendien betreft de voorliggende studie weliswaar in theorie een afvalverwerkingsactiviteit, maar de impacts worden vrijwel zonder uitzondering bepaald door processen in de zogeheten vóórketen. Dat wil zeggen dat de impacts voornamelijk samenhangen met productie van energie en chemicaliën in plaats van met emissies van de activiteiten zelf. De weging geeft veel gewicht aan toxische emissies, wat voor afvalactiviteiten voor de hand ligt, maar als nadeel heeft dat deze emissies (en effecten daarvan, zie ook Paragraaf 5.2) over het algemeen relatief onzeker zijn en vaak samenhangen met heel specifieke, afval-gerelateerde processen ver in de keten zoals opslag van mijnbouwreststoffen. Ook de impacts op gebied van zoetwatervermesting die in deze weging prominent meetellen worden in vrijwel alle gevallen veroorzaakt door de winning van steen- en bruinkool voor energiegebruik in productie van chemicaliën en mijnbouwhulpstoffen.

De signaalwerking van de dtt-weging is dan ook belangrijk. In de Varianten 4.1 en 4.4 worden significante hoeveelheden chemicaliën gebruikt en bij de productie daarvan of de winning van benodigde grondstoffen treden vervuilende emissies op. Dit geldt met name voor de chloorhoudende stoffen. NAM als heeft als groot gebruiker van de materialen direct invloed heeft op waar deze vandaan komen en kan beter inzicht eisen in de precieze samenstelling (zie Bijlage B.1).

Voor het maken van afweging tussen de verschillende varianten zijn de andere twee wegingen echter relevanter omdat deze van algemener perspectieven uitgaan en niet gebaseerd zijn op verschuivende doelen[9]. Deze wegingen geven voor alle varianten van Alternatief 4 over de hele productieperiode een lagere totaalscore dan voor de varianten van Alternatief 1.

5.2 Schadelijke stoffen: beperking van de LCA

De LCA is niet gericht op gedetailleerde analyse van de lokale effecten van emissies van schadelijke stoffen. De gebruikte impactfactoren voor dergelijke milieu- en gezondheidseffecten zijn in het algemeen Europese gemiddelden en bedoeld om inzicht te geven in mogelijke 'hotspots' in de hele procesketen en in eventuele verschuivingen van de ene impactcategorie naar de andere, zoals bijvoorbeeld in de vergelijkingen gepresenteerd in Paragraaf 4.5.

Emissies op een specifieke locatie moeten altijd apart worden beoordeeld zoals gebeurt in de context van de vergunningverlening. Dergelijke randvoorwaarden (zoals watertoets) hebben in het oorspronkelijke beslisschema (CE Delft, 2004) daarom ook expliciet een plek gekregen. Idealiter zou aan dergelijke randvoorwaarden voldaan moeten zijn voordat een optie wordt doorgerekend voor het afwegingskader, waaronder LCA. In praktijk lopen deze stappen tegelijkertijd en de resultaten van de LCA-vergelijking in dit rapport worden deels ook gebruikt als input voor de discussie die moet leiden tot overeenstemming over de definitief te beschouwen alternatieven (zie figuur 3 in CE Delft, 2004). Op basis van de resultaten van de LCA kan niet worden gezegd of kwaliteitsnormen van bijvoorbeeld Kaderrichtlijn Water worden overschreden.

In de LCA-resultaten is het enige effect van het lozen van effluent in de varianten van Alternatief 1 dat duidelijk zichtbaar is de mariene eutrofiering als gevolg van aanwezigheid van ammonium. Ammonium is een van de stoffen die in (PBL, 2014) worden genoemd waarvoor regelmatig overschrijdingen van de concentratienormen optreden in oppervlaktewateren. Het effluent zal uiteraard voldoen aan strikte criteria voor lozing, maar vanwege de rest-concentraties van milieubelastende stoffen in het effluent zijn de milieu-impacts niet nul.

5.2.1 Radioactieve stoffen

In het productiewater zitten onvermijdelijke enkele radioactieve elementen, die eigen zijn aan de ondergrond. Zelfs als deze volledig in het effluent terecht komen, is de resulterende milieu-impact vanuit LCA-oogpunt verwaarloosbaar ten opzichte van de hoeveelheden radioactieve straling die vrijkomen in de keten (upstream).

Volgens modellering door NAM valt de straling in alle gevallen onder de grenswaarden voor vergunningsplichtigheid en hoeft dus geen van de rest-stromen in speciale opslag te worden gestort. Merk echter op dat in de Salttech-variant het grootste deel van de radioactieve elementen in het strooizout terecht lijken te komen en dat hiervoor strengere eisen zullen gelden dan voor stort. Hetzelfde geldt mogelijk voor de TU Delft-variant.

---

9 Alleen de schaduwprijs voor broeikaseffect is mede op beleid gebaseerd maar deze evaluatie is veel recenter dan MER LAP. Voor discussie van schaduwprijs voor broeikaseffect zie (CE Delft, 2010).

Hoe de radioactieve stoffen zich echter in de praktijk verdelen over de verschillende producten en reststoffen is echter nog erg onzeker.
De modellering betreft in feite een 'best guess' die overigens deels niet aansluit bij bekende informatie. In de benadering wordt bijvoorbeeld aangenomen dat ongeveer 10% van de radioactieve elementen met het zwevend stof in de flotatie na de OBI wordt afgescheiden. In de praktijk wordt echter in afgescheiden zwevend stof geen radioactiviteit gemeten. Mogelijk zijn de radioactieve elementen opgeloste ionen die verderop in de waterzuivering worden afgescheiden. In dat geval kan accumulatie optreden in vaste restproducten van relatief kleine omvang, waardoor de restproducten een dusdanig hoge concentratie radioactief materiaal kunnen krijgen dat ze wel vergunningplichtig worden en langdurig gecontroleerd moeten worden opgeslagen als langlevend radioactief afval.

De straling van NORM (Naturally Occuring Radioactive Materials) stoffen wordt in grote mate veroorzaakt door zogeheten alphadeeltjes, die weliswaar zeer schadelijk zijn maar een kleine actieradius hebben. Mochten er langere termijnrisico's aan de opslag verbonden zijn dan zijn de gevolgen dus waarschijnlijk beperkt, maar deze analyse is geen onderdeel van de LCA. In het door Royal HaskoningDHV opgestelde rapport wordt ingegaan op risico's.

5.2.2 Risico beschouwing

Het is onvermijdelijk dat bepaalde stoffen in significante hoeveelheden met de oliewinning naar boven komen. Zo zal per jaar met het productiewater naar schatting 485 ton strontium en 37 ton barium uit de ondergrond worden gehaald. Dit is iets minder dan 1% van wat er met de drie grote rivieren jaarlijks Nederland binnenkomt (RWS, 2007) maar dat is vooral omdat deze de kwaliteitsnormen overschrijden. Indien de aanvoer via rivieren binnen de norm zouden blijven, dan zou de jaarvracht in het productiewater van de orde van 10% van het totaal kunnen zijn.

De keus is dan of ze weer terug gaan in ondergrond, of worden geconcentreerd en opgeslagen in stortplaatsen, of deels afgescheiden en deels geloosd op oppervlaktewater. In de varianten van Alternatief 1 zit nog een klein deel van de zouten en de 'Naturally Occuring Radioactive Materials' in het effluent dat wordt geloosd, maar alle metalen zijn verwijderd. Het overgrote deel van de stoffen zitten in deze varianten in de te storten zoutfractie.

Bij concentratie in vaste reststoffen is opslag in principe goed mogelijk maar brengt een lang termijnrisico met zich mee. Er is, net als bij herinjectie in een reservoir, een kleine kans op lekken naar de omgeving waarbij de gevolgen lokaal wel veel sterker kunnen zijn vanwege de concentratie van de betreffende stoffen. Het risico bij injectie is een kort termijnrisico voor zover het lekken van pijpleiding betreft[10]. Voor stort is het risico op langere termijn. In varianten van Alternatief 1 bestaat uiteraard ook een risico op lekken in de pijpleidingen, maar bij het vrijkomen van deze effluenten verschilt het milieueffect niet significant van het effect van lozing.

In het door Royal HaskoningDHV opgestelde rapport wordt nader ingegaan op risico's voor de beschouwde varianten.

---

[10] Als het ontvangend reservoir aan de randvoorwaarden van het beslisschema (CE Delft, 2004) voldoet zou de lange termijn opslag zeer veilig moeten zijn.

5.3 Sleutelfactoren

De schaduwprijs- en gelijk gewogen scores voor de varianten van Alternatief 1 worden voor het overgrote deel bepaald door energiegebruik (zie Paragraaf 4.5.1). De schaduwprijs- en gelijk gewogen scores voor de varianten van Alternatief 4 hebben een grote bijdrage van het gebruik van chemicaliën, met name voor Varianten 4.1 en 4.4. Met opwekking in de eigen WKC is de energie relatief schoon. Mocht hierin in de loop van de productieperiode verandering in komen en de WKC buiten gebruik gesteld, dan zou de score van Alternatief 1 en de varianten daarbinnen aanmerkelijk anders kunnen worden. De precieze veranderingen hangen af van het jaar waarin de WKC buiten gebruik wordt gesteld en de productiemix die in dat jaar en navolgende jaren aan het elektriciteitsnet worden geleverd c.q. door NAM contractueel worden ingekocht.

Omgekeerd zou met inzet van zelf opgewekte hernieuwbare energie als diepe geothermie of eigen windvermogen of zon-PV-vermogen (voor zover relevant gezien beperkte beschikbaarheid gedurende het jaar) de score wellicht omlaag kunnen worden gebracht. Gebruik van groencertificaten kan over het algemeen niet meetellen in een LCA-vergelijking maar kan wel dienen als 'offset' van een deel van de impacts tijdens productie. Voor de impacts van chemicaliëngebruik in de varianten van Alternatief 4 kan ook aan (carbon) offsets worden gedacht, maar zoals al genoemd zouden de daadwerkelijke milieu-impacts in de betreffende ketens kunnen worden verminderd door met leveranciers in gesprek te gaan.

De verbranding met energieterugwinning van stripgas leidt voor een aantal varianten (Tussenrapport, Salttech, Variant 4.4) tot een niet te verwaarlozen bijdrage aan de totaalscore, zowel volgens schaduwprijsweging als volgens distance-to-target-weging. Het gaat hierbij om de emissie van SO_2 als gevolg van verbranding van H_2S. Deze emissie leidt tot impacts op zowel verzuring als stofvorming. Als de emissie zou kunnen worden voorkomen zouden de genoemde gewogen scores met ongeveer 10% worden gereduceerd.

6 Conclusies

De Varianten 4.2 en 4.3 zijn de voorkeursopties op basis van de in deze studie gepresenteerde LCA-resultaten.

De andere twee varianten van Alternatief 4 hebben een veel lagere score op klimaatverandering en veel van de andere milieuthema's, maar in de keten van chloorhoudende chemicaliën treden bepaalde toxische emissies op, samenhangend met mijnbouwprocessen. Deze emissies leiden tot een hoge toxische impact van de Varianten 4.1 en 4.4 ten opzichte van de varianten van Alternatief 1. De afweging tussen deze varianten is daarom minder eenduidig, maar de twee voorkeurswegingen geven nog steeds een belangrijk betere score ten opzichte van de varianten van Alternatief 1.

Het terugwinnen van zout in herbruikbare vorm geeft enige milieuwinst ten opzichte van de Tussenrapport-variant van Alternatief 1, maar het leeuwendeel van de milieuwinst wordt bij de Salttech- en TU Delft-varianten veroorzaakt door een fors lager energiegebruik.

7 Literatuurlijst

AEBI Schmidt Nederland, 2011. *Criteria voor duurzaam inkopen van Gladheidsbestrijding, Versie: 1.5,* Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

AkzoNobel Hengelo, 2014. *Over ons Energie : Warmtekrachtkoppeling.* [Online]
Available at: https://www.akzonobel.com/hengelo/over_ons/energie/
[Geopend 2016].

Alterra, 2012. *Technische en economische mogelijkheden voor het zuiveren van spuiwater,* Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw.

AOO, 2002. *Milieueffectrapport Landelijk Afvalbeheersplan; Achtergronddocument A2: LCA; methodiek en uitwerking in het LAP,* Utrecht: Afval Overlegoorgaan (AOO).

Busby, J., 2015. *DyVar Thermal Cyclone Desalination : A Very Small Town Leads Innovation, presentation at Texas Water 2015, April 1-17.* [Online]
Available at:
http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/947398/26851193/1455173283587/2016-Busby.pdf?token=Z5wfJcuReYPfrr5QYALohhnEiYs%3D
[Geopend 2016].

CE Delft, 2004. *Met water de diepte in : Afwegingsmethodiek voor vergunningen rond diepe injectie van waterstromen van olie- en gaswinning,* Delft: CE Delft.

CE Delft, 2010. *Handboek Schaduwprijzen : Waardering en weging van emissies en milieueffecten,* Delft: CE Delft.

Cogen Nederland, 2004. *Voorbeeld protocol voor de fictieve WKC VOF Anoniem : MEP Meetprotocol.* [Online]
Available at: http://cogen.nl/mep/protvof.pdf
[Geopend 2016].

Ecofys , 1994. *Sectorstudie anorganische chemie,* Petten: NEEDIS.

Ecofys, 2014. *Subsidies and costs of EU energy : An interim report,* s.l.: Ecofys (by order of European Commission).

Energiekeuze, 2012. *Akzo Nobel brengt nog een WKC in coma wegens hoge gasprijs.* [Online]
Available at: Akzo Nobel brengt nog een WKC in coma wegens hoge gasprijs
[Geopend 2016].

Gielen, M., 2014. *STAN : Stoomleiding Twence AkzoNobel,* Hengelo: AkzoNobel Industrial Chemicals.

Goedkoop, M. et al., 2009. *ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, First edition (version 1.08),* Den Haag: Ministerie van Volkshuisvesting en Milieubeheer (VROM), Ruimte en Milieu.

HoSt, 2006. *Onderzoek restwarmtebenutting in de provincie Overijssel,* Enschede: HoSt en Bilum.

Jelgersma, F., Keizer, M. d., Jan Willem, F. & Haarlem, B. v., 2009. *Combining Proven Technologies into a Profitable Steamflood, presentation at IOR 2009 - 15th European Symposium on Improved Oil Recovery,* sl: EAGE.

NEN, 2015. *Herziene NTA (Nederlandse Technische Afspraak) 8080 : Duurzaam geproduceerde biomassa voor bio-energie en biobased producten* , Delft: NEN.

PBL, 2014. *De Kwaliteit van het Nederlandse oppervlaktewater beoordeeld volgens de Kaderrichtlijn Water (KRW),* Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

Royal Haskoning, 2006. *Milieueffectrapportage herontwikkeling olieveld Schoonebeek,* [Groningen]: Royal Haskoning B.V.

Royal HaskoningDHV, 2016a. *Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek oliereservoir.* [Online]
Available at: https://www.royalhaskoningdhv.com/nl-nl/nederland/projecten/herafweging-verwerking-productiewater-schoonebeek-oliereservoir/6357
[Geopend 2016].

Royal HaskoningDHV, 2016b. *Herafweging verwerking productiewater Schoonebeek : Tussenrapport alternatievenafweging.* [Online]
Available at: www.nam.nl/techniek-en-innovatie/waterinjectie-in-twente/downloads-waterinjectie-twente/_jcr_content/par/expandablelist/expandablesection_775160749.stream/1476087497580/c1da1a5d1d962b38972d26867a59f374838f486ff9866b5398677d12602d143e/rhdhv-revised-summary
[Geopend 2016].

Royal_HaskoningDHV, 2016c. *Procesbeschrijvingen en kostenevaluatie zuiveringsvarianten,* Amersfoort: Royal HaskoningDHV.

RVO, [2011]. *Stoomleiding win-win-situatie voor strategische partners AkzoNobel en Twence.* [Online]
Available at:
http://www.rvo.nl/sites/default/files/2015/06/Stoomleiding%20win-win%20situatie%20voor%20strategische%20partners%20AkzoNobel%20en%20Twence.pdf
[Geopend 2016].

RWS, 2007. *Vergeten Metalen in Nederlandse Rijkswateren,* Lelystad: Rijkswaterstaat Waterdienst.

SABIC, 2009. *Brine Recovery Project at Bergen op Zoom Facility.* [Online]
Available at: http://www.sabic-ip.com/gep/en/NewsRoom/NewsArticleDetail/november_2009_brinerecoveryprojectat.html
[Geopend 2016].

Standard kessel Baumgarte, 2016. *List of References Heat Recovery Boiler Plants.* [Online]
Available at: http://www.standardkessel-baumgarte.com/uploads/tx_download/SKG-List_of_References_-_HRSG_01.pdf
[Geopend 2016].

TNO, 2003. *Conditionering bijzondere C2-afvalstoffen,* Apeldoorn: TNO-MEP.

Wikimedia Foundation Inc., 2016. *Monte Kali.* [Online]
Available at: https://de.wikipedia.org/wiki/Monte_Kali
[Geopend 2016].

Bijlage A In de milieuanalyse gehanteerde methodiek

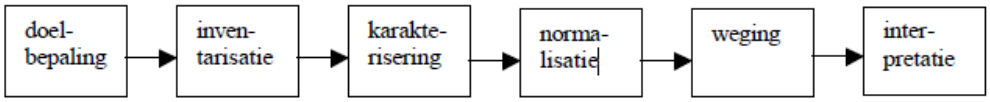
A.1 Beschouwde milieuthema's en weegfactoren

De LCA is uitgevoerd conform de in het kader van de MER LAP ontwikkelde methodiek.

Algemene beschrijving LCA zoals uitgevoerd onder MER LAP

LCA is een systematische manier om, met behulp van een 'wieg-tot-graf'-benadering, de milieu-impact van producten of activiteiten te evalueren.
In MER-LAP worden met de LCA-methode de milieugevolgen van de complete afvalverwerkingsprocessen (van begin tot eind) in kaart gebracht.

De belangrijkste onderdelen van een LCA zijn achtereenvolgens doelbepaling, inventarisatie, milieubeoordeling en interpretatie.



1. **Doelbepaling:**
   De uitgangsparameters voor de LCA worden bepaald en vastgelegd.
   Een wezenlijk onderdeel in dit stadium vormt het definiëren van de systeemgrenzen voor de analyse; welk (onderdeel van) een proces is onderwerp van de analyse en hoe ver strekt de analyse zich uit.
   In deze studie is het doel verwijdering van 8.000 m^3/dag aan productie-water zoals dat in de periode 2020-2025 zal vrijkomen bij oliewinning uit het olieveld Schoonebeek. Daarvoor zijn verschillende alternatieven mogelijk. Deze worden in de LCA onderling vergeleken qua milieu-belasting.
2. **Inventarisatie:**
   In dit onderdeel vindt het vaststellen van de verschillende milieu-ingrepen plaats, zoals emissies van stoffen naar lucht, bodem, water, productie van geluid, gebruik van grondstoffen, vrijkomen van afvalstoffen.
   De bedoelde milieugevolgen zijn in de eerste plaats de bijbehorende emissies van stoffen naar water, lucht en bodem die horen bij de daadwerkelijke bewerkingshandelingen. Er wordt echter ook gekeken naar de emissies die horen bij de voor de afvalverwerking benodigde hulp-processen als transport, energie, productie van hulpstoffen, etc. Naast al deze directe emissies naar water, lucht en bodem wordt verder tevens rekening gehouden met potentiële gevolgen voor de uitputting van hulp-bronnen en de invloed van landgebruik op ecosystemen.
   Verder zijn de vermeden effecten meegenomen als gevolg van de nuttige toepassing van afvalstoffen als vervanging van primaire grond-, hulp- en brandstoffen. Bij de verwerking van reststoffen in nuttige toepassing of op stortplaatsen, wordt tenslotte de uitloging van stoffen meegenomen.

3. **Karakterisering (milieueffectbeoordeling):**
   De in Stap 2 vastgestelde milieu-ingrepen worden in deze stap vertaald naar een bijdrage aan de beschouwde LCA-thema's.
   Concreet betekent dit dat voor iedere vastgestelde emissie met stofspecifieke karakterisatiefactoren[11] wordt bepaald hoe zeer deze bijdraagt aan thema's als broeikaseffect, verzuring, vermesting, etc.
   De bijdragen worden vervolgens per thema bij elkaar opgeteld.
4. **Normalisatie (milieueffectbeoordeling):**
   Binnen deze stap worden de verschillende LCA-thema's ten opzichte van elkaar in beschouwing genomen door middel van een normalisatie.
   Dit bestaat er uit dat de score op een thema wordt afgezet tegen de totaalscore van een samenleving (bijvoorbeeld een gemiddelde Europese burger). Door dit voor alle thema's te doen ontstaan zogenaamde genormaliseerde scores die het beter mogelijk maken om de belasting op verschillende thema's met elkaar te vergelijken.
5. **Weging (milieueffectbeoordeling):**
   Hoewel alleen opgenomen als optioneel element binnen de ISO-standaarden, kunnen de genormaliseerde scores bij elkaar opgeteld worden door middel van een weging. Binnen MERLAP is, conform de Richtlijnen voor het MER, op verschillende manieren gewogen. Er is gekozen voor meerdere weegmethoden om zodoende de gevoeligheid van de resultaten voor de kritische stappen in beeld te brengen.
   Door alle LCA-thema's bij elkaar op te tellen kan vervolgens één uiteindelijke milieueffectscore worden afgeleid. Dit optellen kan echter alleen gebeuren door zekere, per definitie subjectieve, weegfactoren te introduceren. Dit proces is in beginsel geen onderdeel van een LCA.
6. **Interpretatie**
   Binnen deze stap wordt tenslotte beoordeeld of de verkregen data volledig zijn en vindt, behalve de waardering van de milieueffecten, tevens een beoordeling plaats op grond van een inschatting van de betrouwbaarheid van de analyse. In deze sub-stap vindt ook voor een belangrijk deel het onderzoek naar gevoeligheden plaats en wordt nadrukkelijk bezien in hoeverre gevonden verschillen ook daadwerkelijk significant zijn. In een enkel geval kan dit leiden tot het opnieuw terugkeren naar de inventarisatiefase (Stap 2) teneinde de betrouwbaarheid van gehanteerde gegevens nog eens te bezien, dan wel ontbrekende gegevens die van voor de uitkomst van belang lijken alsnog te vinden.

Uitwerking in deze studie

Van alle verwerkingsmogelijkheden is een zo kwantitatief mogelijke schatting van de milieubelasting gemaakt. Voor inschatten van de milieubelasting zullen worden beschouwd:

- emissies naar water, lucht en bodem;
- verbruiken van hulpstoffen en energiedragers;
- de aan productie van de geconsumeerde hulpstoffen en energiedragers gerelateerde emissies (conform LCA-methodiek);
- productie van te storten reststoffen;
- emissies naar het milieu vanuit de stort.

---

[11] De bijdrage van een ingreep aan een LCA-thema wordt gekwantificeerd met behulp van karakteriseringsfactoren.
Karakteriseringsfactoren geven dus de potentiële schade aan die een ingreep veroorzaakt en iedere geëmitteerde stof draagt hierdoor in verhouding tot zijn 'schadelijkheid' bij aan de score op het betreffende thema. Een geëmitteerde stof kan in verschillende mate bijdragen aan meerdere thema's en kent daartoe voor ieder thema een eigen karakteriseringsfactor.

De emissies zijn conform de in het MER-LAP gehanteerde LCA-methodiek vertaald naar bijdragen aan milieuthema's . In Tabel 17 staan de thema's volgens MER-LAP methodiek en hoe deze zijn ingevuld met inmiddels beschikbare nieuwe impactfactoren van de methode ReCiPe midpoint H (Goedkoop, et al., 2009)

Tabel 17 Beschouwde milieuthema's

MER LAP	ReCiPe midpoint H	Eenheid
Effectgericht		
Abiotische uitputting	Metaal uitputting	kg Fe-eq
	Fossiele uitputting	kg oil-eq
Versterking broeikaseffect	Versterking broeikaseffect (GWP 100)	kg CO_2-eq
Aantasting ozonlaag	Aantasting ozonlaag	kg CFK_{11}-eq
Fotochemische oxidantvorming	Fotochemische oxidantvorming	kg NMVOC
Eco-toxiciteit (aquatisch - zoet)	Eco-toxiciteit (aquatisch - zoet)	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.
Eco-toxiciteit (terrestrisch)	Eco-toxiciteit (terrestrisch)	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.
	Eco-toxiciteit (aquatisch - zout)	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.
Humane toxiciteit	Humane toxiciteit	kg 1,4-dichloorbenzeen eq.
	Fijnstofvorming	Kg PM-eq
Verzuring	Verzuring	kg SO_2-eq
Vermesting (aquatisch)	Vermesting (zoetwater)	kg P-eq
Vermesting (terrestrisch)	Vermesting (zout water)	kg N-eq
Fysieke aantasting – biodiversiteit	n/a (zie fysiek ruimtebeslag)	
Fysieke aantasting - life support	n/a (zie fysiek ruimtebeslag)	
	Radioactieve straling	kBq U235-eq
Ingreepgericht		
Fysiek ruimtebeslag – landgebruik	Fysiek ruimtebeslag – landgebruik (landbouw, stedelijk)	$m^2 \cdot$jaar
	Transformatie van natuurlijk land oppervlak	m^2
Finaal afval (totaal)	n/a	
Energieverbruik (totaal)	n/a	
Waterverbruik (totaal)	Waterverbruik (totaal)	m^3

Op basis van de kwantitatieve inzichten is aan te geven in hoeverre injectie van de reststromen in de Twentse diepe ondergrond vanuit milieuoogpunt doelmatig is in vergelijking met injectie in de Drentse ondergrond en met alternatieve verwerkingswijzen. Bij deze toets zijn bijdragen aan milieu-thema's zowel per categorie vergeleken als onderling gewogen. In de MER LAP LCA-methodiek is weging een facultatieve stap en volgens de ISO-standaard voor LCA (ISO 14044:2006) is moeten in ieder geval ook ongewogen resultaten worden gepresenteerd.

Omdat elke weging een subjectieve keuze betekent, is het aan te raden verschillende wegingen te gebruiken bij wijze van gevoeligheidsanalyse. Dit is ook in de MER LAP LCA-methodiek (LAP2, 2002-2016) toegepast. Door verschillende invalshoeken te gebruiken voor het interpreteren van de resultaten kan de subjectiviteit van de weegstap worden verminderd. In veel gevallen geven verschillende benaderingen dezelfde conclusie.

In deze studie hebben we gekozen voor een drietal wegingen waarmee een zo breed mogelijk beeld wordt gegeven. De drie invalshoeken zijn:

- Gebruik van zogeheten schaduwprijzen, waarbij milieu-impacts worden gewogen op basis van financiële schade voor de maatschappij die als gevolg van de impact zal optreden. Hiervoor bestaan veel milieu-

economische modellen waarin niet alleen daadwerkelijk kosten worden meegenomen maar ook bijvoorbeeld 'emotionele' kosten van gezondheidsschade. De gehanteerde weegset komt uit het Handboek Schaduwprijzen (CE Delft, 2010) met latere aanvulling van factoren voor uitputting en bodemecotoxiciteit (analoog aan Ecofys, 2014), maar voor ReCiPe H in plaats van ReCiPe I).

- Gebruik van gelijke weging, waarbij milieu-impacts worden genormaliseerd ten opzichte van impacts van 'gemiddelde Europese consumptie' en vervolgens allemaal even zwaar wegen. De essentie is dat een proces wordt beoordeeld naar de relatieve bijdrage die het levert aan het totaalprobleem, bijvoorbeeld verzuring in Europa, ofwel hoe een activiteit zich verhoudt tot een "gemiddelde" activiteit. De gehanteerde normalisatiefactoren zijn onderdeel van de ReCiPe H LCIA-methode en geven de impacts weer van heel Europa, ijkjaar 2000, uitgedrukt per persoon per jaar.
- De distance-to-target-weging, waarin een milieuthema zwaarder weegt naar mate de bijbehorende beleidsdoelstelling verder van de huidige situatie verwijderd is. Deze weegmethode vergt regelmatige updates omdat zowel beleidsdoelstellingen als emissieniveaus aan verandering onderhevig zijn. De hier gehanteerde weging komt uit (AOO, 2002) en is inmiddels sterk verouderd; bovendien zijn de weegfactoren niet meer volledig representatief voor de huidige normalisatiefactoren. Deze weegmethode heeft echter nog wel een signaalwerking wat betreft de bijdragen van emissies naar het milieu. Het Landelijk Afvalbeheerplan 2 waarvoor deze weging is bepaald is op dit moment (2016) nog van kracht.

De weegfactoren worden gegeven in Tabel 18.

Tabel 18 Weegfactoren per weegmethode

ReCiPe midpoint H	Weging Schaduwprijs (€2012/ eenheid)	Normalisatie (persoon-jaar/ eenheid)	Distance-to-target (factor voor genormaliseerde score)
Metaal uitputting	0.076	0.0014	
Fossiele uitputting	0.177	0.000643	
Versterking broeikaseffect (GWP 100)	0.027	0.0000892	1.17
Aantasting ozonlaag	42	45.4	6
Fotochemische oxidantvorming	0.629	0.0176	2
Eco-toxiciteit (zoetwater)	0	0.0909	2
Eco-toxiciteit (bodem)	6.03	0.121	2
Eco-toxiciteit (zee/oceaan)	0	0.115	
Humane toxiciteit	0.022	0.00159	2
Fijnstofvorming	55.3	0.0671	
Verzuring	0.686	0.0291	2.9
Vermesting (zoetwater)	1.91	2.41	3.6
Vermesting (zout water)	0	0.0988	
Radioactieve straling	0.046	0.00016	
Fysiek ruimtebeslag - landgebruik (landbouw, stedelijk)	0.658	0.000221 / 0.00246	
Transformatie van natuurlijk land oppervlak	--	6.19	
Waterverbruik (totaal)	--	0	

A.2 Verwerking van reststoffen

In diverse beschouwde alternatieven komen reststoffen vrij, waarvan door de initiatiefnemers wordt aangenomen dat ze moeten worden gestort. Het betreft over het algemeen reststoffen van waterbehandeling bestaande uit door indampen geïsoleerde zouten met daarin metalen en andere verontreinigingen. De reststoffen worden op een vergelijkbare wijze geproduceerd en hebben kenmerken vergelijkbaar met droog rookgasreinigingsresidu (RGRr) van AVI's. Net als RGRr bestaat het materiaal voornamelijk uit hygroscopische en zeer goed oplosbare zouten met kleinere hoeveelheden deels uitloogbare zware metalen.

Gezien de (veronderstelde) overeenkomsten is in deze studie aangenomen dat de residuen op eenzelfde manier wordt verwerkt als RGRr. In de praktijk zijn er diverse, per AVI, verschillende routes voor verwijdering van RGRr in gebruik:

- Versatzbau, het in oude mijngangen 'storten' of 'nuttig hergebruiken' van het residu om verzakking te voorkomen;
- stort in big bags in een C3-component van een stortplaats.

In deze studie is er voor gekozen om de laatste optie te beschouwen. De studie wordt verricht in het kader van de vraag of opslag van niet daaruit afkomstige stoffen in de diepe ondergrond acceptabel is. Met dat in het achterhoofd lijkt het minder logisch om aan te nemen dat het wel acceptabel is een bij bovengrondse verwerking of waterproductie vrijkomende reststroom vlak over de grens alsnog in de diepe ondergrond op te slaan.

In Bijlage B.2 wordt een beschrijving gegeven van de in deze LCA beschouwde wijze van storten.

A.3 Overzicht gebruikte hulpstoffen

Daarnaast zijn door CE Delft de gebruiken van energiedragers en chemicaliën middels standaard specifieke emissies per eenheid energiedrager of chemisch product vertaald naar bijdragen aan de beschouwde milieuthema's:

- Voor de meeste achtergronddata is gebruik gemaakt van de Ecoinvent 3.1 database (NaOH, HCl, actieve kool, zand, big bags, PE-hoes, mobiel werktuig).
- Voor de in de alternatieve varianten gebruikte stoom en elektriciteit is uitgegaan van levering door de WKC op locatie Schoonebeek. De aan deze energiedragers gerelateerde milieubelasting is gebaseerd op de energiebalans over de WKC en de emissies zoals opgegeven in de MER uit 2006. De gegevens zijn te vinden in Bijlage B.3.
- Volgens opgave door NAM vindt in relatie tot elektriciteitgebruik buiten de productielocatie Schoonebeek administratieve verrekening tussen inkoop en levering van elektriciteit tussen NAM en andere elektriciteitproducenten plaats. Om die reden is ook voor elektriciteit geconsumeerd op andere locaties – met name de injectiepunten – dan winninglocatie Schoonebeek uitgegaan van milieubelasting per eenheid door de WKC Schoonebeek geproduceerde elektriciteit.

A.4 Doel en afbakening

Het doel is om verschillende verwerkingsroutes te vergelijken. De analyse begint op het punt dat de waterstroom vrijkomt uit de OBI. Functionele eenheid is m^3 te verwerken waterstroom (in praktijk dagelijkse of jaarlijkse hoeveelheid). Alle verwerkingsprocessen worden meegenomen, met inventarisatie van emissies en van gebruik van hulpstoffen en energie.
De emissies die vrijkomen bij productie van hulpstoffen en energie zijn ook onderdeel van de inventarisatie.

Voor zover aanwezig in secundaire gegevens worden ook de effecten van zogeheten kapitaalgoederen meegenomen (productie van o.a. transport-middelen en machines). De aanleg van de nodige infrastructuur voor de voorgrondprocessen is niet meegenomen. Naar verwachting zullen de effecten van dergelijke goederen de vergelijking tussen routes niet significant beïnvloeden.

Bij nuttige toepassing van eventuele reststromen wordt systeemuitbreiding en substitutie toegepast om effecten te schatten. Hierbij wordt uitgegaan van substitutie in specifieke processen, bijvoorbeeld gasgebruik op eigen locatie, of van gemiddelde productie (bijvoorbeeld $CaCO_3$).

Bijlage B Achtergrondgegevens

B.1 Achtergrondgegevens voor chemicaliën, energiedragers en transporten

In Bijlage B.1 is een overzicht gegeven van de in deze studie gehanteerde achtergrondgegevens voor chemicaliën en andere hulpstoffen, energiedragers en transporten. Voor een aantal stoffen en energiedragers is in aparte paragrafen hierna een nadere toelichting gegeven.

De modellering van productie van mijnbouwhulpstoffen is gebaseerd op de informatie beschikbaar in openbare MSDS en WIK. Sommige van de ingrediënten zijn niet beschikbaar in de procesdatabase Ecoinvent en in dat geval is gebruik gemaakt van ofwel een gemiddelde ('chemical organic/ chemical inorganic') ofwel een stof die lijkt op het betreffende ingrediënt. De aanname die daarbij is gemaakt is dat de productieketens dan ook op elkaar lijken. Daarnaast zijn de percentages die in MSDS en WIK worden genoemd niet altijd consistent of zijn behoorlijk variabel. De tabellen hieronder geven weer hoe de mijnbouwhulpstoffen zijn gemodelleerd.

Tabel 19 Model voor de samenstelling van H^2S scavenger

H_2S scavenger (MSDS)		SimaPro-model	
n-phenyl-diethanolamine	50-100% (*)	Diethanolamine	50%
Isopropanol	30-50%	Isopropanol	40%
2-butoxyethanol	5-10%	Xhemical organic	5%
Methanol	5-10%	Methanol	5%

* Kan in praktijk niet meer dan 60% zijn want rest minimaal 40%.

Tabel 20 Model voor de samenstelling van biocide

Biocide (WIK)		SimaPro-model	
Quaternary ammonium comp, benzyl-C12-16-alkyldimethyl,chlorides	30-60%	Benzal chloride	50%
		Benzyl chloride	25%
Ethanediol	10-25%	Butane-1.4-diol	17.50%
Methanol	5-10%	Methanol	7.50%
	(Total < 100%)		

Tabel 21 Model voor de samenstelling van corrosion inhibitor

Corrosion inhibitor (WIK)		SimaPro-model	
Quaternary ammonium comp, benzyl-coco alkyldimethyl, chlorides	10-25%	Benzal chloride	15%
		Benzyl chloride	10%
Amines, coco alkyl propionate	10-25%	Chemicals organic unspec	25%
2-butoxyethanol	10-20%	Chemicals organic unspec	20%
Ethanediol	5-10%	Butane-1.4-diol	10%
Amines, coco alkyl	5-10%	Fatty alhohol GLO market	10%
Mines, coco alkyl ethoxylated	1-2.5%	Ethoxylated alhohol AE3 GLO market	2.5%
		Chemicals organic unspec	7.50%

Tabel 22 **Model voor de samenstelling van overige mijnbouwhulpstoffen**

Hulpstof	WIK	SimaPro-model
Scale Inhibitor	Ethanediol 10-25%	80% organic chem generic, 20% butane1.4diol as in biocide
Oxygen Scavenger	Ammonium hydrogensulphite 60-100%	100% inorganic chem generic
Water Clarifier	Ethanediol 30-60%, oxybisethanol 1-5%	50% butane1.4diol, 50% chem org unspec
Demulsifier, in Oil Field	Solvent naphtha, naphthalene	60% naphtha, 40% chem org unspec
Antifoam, in CTF	Petroleum distillates hydrotreated light 60-100%	80% kerosene, 20% chem org unspec
H2S scavenger als Hexahydro-1,3,5-trimethyl-s-triazine		Triazin compound, unspec, GLO market

B.2 Nadere toelichting bij storten

Gebruik van bedrijfsmiddelen en transporten gerelateerd aan de stort in big bags zijn berekend conform de methodiek uit de MER LAP. Er is uitgegaan van stort in een compartiment met een maximale hoogte van 15 meter. De bulk-dichtheid van het te storten materiaal is gesteld op 1.200 kilo/m^3.
Het materiaal wordt gestort in big bags van 1,25 m^3 inhoud en een specifiek gewicht van 2,5 kg, die voor stort worden afgedekt met een PE-hoes van 0,9 kilo. De ruimte tussen de lagen big bags van 1 meter hoogte wordt opgevuld met een laag van circa 0,3 meter aan zand. Aangenomen is dat de stortplaats zich op 50 kilometer van het olieveld bevindt. Zand wordt over een transport afstand van 30 kilometers over binnenwater en 50 kilometer over de weg aangevoerd.

B.3 Nadere toelichting bij stoom en elektriciteit geleverd door WKC

Voor het bepalen van de aan door de WKC geleverde stoom en elektriciteit gerelateerde milieubelasting zijn de emissies van de WKC gealloceerd naar beide producten. Er is verder rekening gehouden met het gegeven dat volgens de MER uit 2006 een deel van de jaarlijks geleverde hoeveelheid stoom door de reserveketel.
In onderstaande sub-paragrafen worden allocatiemethodiek (Bijlage B.3.1), berekening van de allocatiefactoren (Bijlage B.3.2) en de berekening van de emissies per eenheid geleverde elektriciteit en stoom (Bijlage B.3.3) beschreven.

B.3.1 Toerekeningsmethodiek

De aan de geleverde warmte gerelateerde CO_2-emissie is berekend conform de in de NTA8080 voorgeschreven formule:

$$EC_h = \frac{E_P}{\eta_h}\left(\frac{C_h \times \eta_h}{C_{el} \times \eta_{el} + C_h \times \eta_h}\right)$$

Met:

EC_h = De totale broeikasgasemissie van het energie-eindproduct is, namelijk verwarming, uitgedrukt in termen van gram CO_2-equivalent per MJ energie-eindproduct (g CO_2eq/MJ);

E_P = De totale emissie ten gevolge van de productie van brandstof vóór de energieomzetting is (g CO_2eq/MJ). In deze studie is conform de standaard emissiefactoren uit Biograce I uitgegaan van een waarde van 67,6 kg CO_2-eq/GJ.

η_h = Het thermische rendement is, gedefinieerd als de jaarlijks geproduceerde nuttige warmteoutput, te weten de warmte die wordt opgewekt om aan een economisch gerechtvaardigde vraag om warmte te voldoen, gedeeld door de jaarlijkse brandstofinput. Volgens opgave van Eneco bedraagt het jaargemiddelde thermische rendement van beide STEG's 31%.

η_{el} = Het elektrische rendement is, gedefinieerd als de jaarlijks geproduceerde elektriciteit gedeeld door de jaarlijkse brandstofinput. Volgens opgave van Eneco bedraagt het jaargemiddelde thermische rendement van beide STEG's 41%.

C_{el} = De exergiefractie in de elektriciteit is, of een andere energiedrager die geen warmte is, vastgelegd op 100 % (C_{el} = 1).

C_h = Het Carnotrendement is (de exergiefractie in de nuttige warmte). Het Carnotrendement, C_h, voor nuttige warmte bij verschillende temperaturen is:

$$C_h = \frac{T_h - T_0}{T_h}$$

Waarin

T_h = De temperatuur, uitgedrukt in graden kelvin, van de nuttige warmte is op de plek waar de warmte als eindenergie wordt afgegeven. Voor de warmtenetten waarop de BWI zal worden aangesloten is dit 105°C.

T_0 = De omgevingstemperatuur is, vastgesteld op 273°Kelvin (= 0°C).

De aan de geleverde elektriciteit gerelateerde CO_2-emissie is berekend conform de in de NTA8080 voorgeschreven formule:

$$EC_{el} = \frac{E_P}{\eta_{el}}\left(\frac{C_{el} \times \eta_{el}}{C_{el} \times \eta_{el} + C_h \times \eta_h}\right)$$

Zie verder eerder in de sub-paragraaf.

B.3.2 Gebruikte achtergrondinformatie en interpretatie daarvan

Gebruikte informatie

De WKC bestaat uit een 126[12] MW_e General Electric Frame 9[13] gasturbine (η_e = 33% voor G-gas) met afgassenketel met bijstook.
De bijstookbranders van de WKC worden met aardgas en het secundaire gas[14] gestookt, de gasturbine alleen met aardgas.

De afgassenketel heeft een maximaal thermisch vermogen van 320 MW (circa 365 ton/uur) en een rookgas uitlaattemperatuur van 120°C en produceert stoom van 310°C en circa 82 Bara.

Door de afgassenketel geleverde stoom wordt geproduceerd op basis van door Nieuwater geleverd ketelvoedingswater van 10°C. Dit ketelvoedingswater wordt met verse stoom tot 20 graden boven het kookpunt van water verwarmd (afhankelijk van de druk, die varieert tussen 50 en 82 bar) voordat het in de ketel verder wordt opgewarmd. Het geleverde ketelvoedingswater wordt middels warmteterugwinning in de OBI zo veel mogelijk voorverwarmd.

Allocatiefactoren voor elektriciteit en warmte uit de gasturbine

De aan aardgasstook in de gasturbine gerelateerde milieubelasting is gealloceerd aan de geproduceerde elektriciteit en aan de energie/inhoud van de rookgassen. Voor het bij de allocatie te hanteren Carnotrendement is uitgegaan van een rookgastemperatuur van 540°C.

Er is voor allocatie verder rekening gehouden met 1% stralingsverlies en 1% mechanisch verlies in de generator, waaruit volgt dat 100% - 33% - 1% 1% = 65% van de energie-inhoud aan de hete rookgassen wordt meegegeven.

De uit bovenstaande gegevens berekende specifieke brandstofgebruiken bedragen:
- 0,87 $GJ_{aardgas}/GJ_{th}$ voor de rookgassen;
- 1,31 $GJ_{aardgas}/GJ_e$ voor elektriciteit.

	Voor warmte WKC		Voor elektriciteit WKC	
	Eelektrisch	Thermisch	Elektrisch	Thermisch
Maximale inzet WKK	120	244	120	244
Brandstof	364		364	
Rendementen	33%	65%	33%	65%
Emissie per eenheid brandstof C_brandstof	56		56	
Ep/ηth of Ep/ηe	86		170	
Ch x ηth of Ch x ηe		43%		43%
Allocatiefactor		57%	43%	
Emissiefactor C_energiedrager		48,9	73,5	
Specifiek gebruik (C_energiedrager ÷ C_brandstof)		0,87	1,31	

12 Volgens de door de fabrikant opgegeven specificaties.

13 Zie: (Jelgersma, et al., 2009)

14 Secundair gas: aardgas dat samen met aardolie wordt geproduceerd. Het gasvormige bijproduct van oliewinning 34,5 MJ/ Nm^3 kan zowel in de afgassenketel als in de hulpketel worden verstookt. In dit gas bevindt zich ca. 1.500 mg/m^3 H_2S (zwavelwaterstof).

B.3.3 Milieubelasting voorelketriciteit stoomproductie

Milieubelasting per eenheid elektriciteit

Er is conform de MER uit 2006 uitgegaan van een emissiefactor van 56 kg/GJ voor CO_2, 40 g/GJ voor NO_x en 12 g/GJ voor methaan.
In de LCA is ook de milieubelasting bij productie en aanvoer van aardgas verdisconteerd.
De berekening van de emissies per eenheid elektriciteit is gegeven in (zonder keteneffecten).

Tabel 23 Berekening van de emissies naar lucht per eenheid elektriciteit

	Emissiefactor per eenheid brandstof, kg/GJ	Emissiefactor per eenheid elektriciteit, kg/GJ_e
Brandstofgebruik, $GJ_{brandstof}/GJ_e$	1,31	
Emissiefactoren (kg/GJ brandstof)		
CO_2	56	73,5
NO_x	4,00E-02	0,052
CH_4	1,19E-02	0,016

CO-emissies dragen niet bij aan de beschouwde milieuthema's en zijn daarom verder buiten beschouwing gelaten

Milieubelasting per eenheid warmte uit de gasturbine

De emissies per eenheid aan de afgassenketel geleverde warmte zijn op dezelfde wijze berekend, zie Tabel 24.

Tabel 24 Berekening van de emissies naar lucht per eenheid warmte

	Emissiefactor per eenheid brandstof, kg/GJ	Emissiefactor per eenheid warmte, kg/GJ_{th}
Brandstofgebruik, $GJ_{brandstof}/GJ_{th}$	0,87	
Emissiefactoren		
CO_2	56	48,9
NO_x	4,00E-02	0,035
CH_4	1,19E-02	0,010

Milieubelasting per eenheid stoom uit de WKC

Conform de MER uit 2006 wordt gemiddeld over de exploitatieperiode 196 MW_{th} aan stoom geproduceerd voor injectie in het olieveld Schoonebeek. Deze hoeveelheid zal in de regel worden geleverd door de WKC. De brandstof-inzet in de WKC bedraagt volgens de MER in totaal 370 MW aardgas en 12 MW secundair gas. Er is aangenomen dat er 364 MW aan aardgas in de gasturbine wordt verstookt.

In deze LCA is aangenomen dat in de afgassenketel bijstook plaatsvindt van 12 MW secundair gas en 6 MW aardgas. De op basis van deze verhouding berekening van de gewogen emissiefactoren per eenheid geleverde stoom is gegeven in Tabel 25.

Tabel 25 Berekening van de emissies naar lucht per eenheid stoom

	Warmte van gasturbine, MW	Aardgas bijstook	Secundair gas bijstook	Gewogen
Brandstoftoevoer, MW	244	6,3	12	
Emissiefactoren (kg/GJ)				
CO_2	48,9	56,0	56,0	49,4
NO_x	0,035	0,040	0,040	0,035
CH_4	0,010	0,012	0,012	0,011
SO_2			0,082	0,004

B.4 Inzet van teruggewonnen schoon zout (NaCl)

In de Salttech en TU Delft-varianten van Alternatief 1 wordt de fractie NaCl afgescheiden met het oog op inzet als strooizout. In de Salttech-variant is het percentage NaCl 97% en daarmee voldoet het materiaal aan de eisen voor strooizout. In de modellering wordt er vanuit gegaan dat het zout volledig zal kunnen worden ingezet en daarmee de productie van primair zout uitspaart.

Strooizoutproductie in Nederland

In de varianten van Alternatief 1 met technologie van Salttech of de door TU Delft voorgestelde technologische invulling wordt een als strooizout herbruikbaar zoutfractie afgescheiden. Om dit hergebruik te kunnen waarderen in de LCA is een schatting gemaakt van de aan strooizoutproductie gerelateerde milieubelasting. Strooizout zal niet over grote afstanden worden getransporteerd dus het ligt voor de hand dat lokale productie zal worden uitgespaard. Elders in Europa wordt zout geproduceerd met een veel milieu-belastender energiemix en dus hogere impacts. Dit zou een overschatting geven van de milieuwinst.

In onderstaande paragrafen wordt eerst ingegaan op het Nederlandse productieproces, vervolgens op energiegebruik en wijze van energieproductie en vervolgens op de aan het energiegebruik gerelateerde milieugegevens.

Productieproces

Strooizout is één van de producten die door Frisia Zout en door AkzoNobel worden geproduceerd op de zoutwinningslocaties in Harlingen (1,2 Mton/jaar), Delfzijl (2,6 Mton/jaar) en Hengelo (2,6 Mton/jaar). Ter vergelijking, het gemiddelde gebruik aan strooizout bedraagt 0,093 Mton/jaar en de jaarlijkse consumptie fluctueert tussen 14 en 163 kton/jaar.

In het productieproces van strooizout wordt water onder druk in de zoutlagen geïnjecteerd. Na oplossing van zout in water wordt de pekel omhoog gepompt. Deze pekel bevat ca. 23 gew-% zout. Na transport van de winningslokatie naar de verwerkingslocatie wordt de pekel gezuiverd van magnesium-, calcium- en ijzerionen. De gezuiverde pekel wordt vervolgens in enkele parallelle meer-stappen-indampingsinstallaties ingedampt tot een zoutbrij (zoutoplossing met daarin vaste zoutkristallen). Met centrifuges worden de zoutkristallen afgescheiden als vrijwel 100% droge stof.
De afgescheiden vloeistof, moederloog, gaat terug naar de pekelzuivering.

Energiegebruik

Het specifieke energiegebruik voor indampen is op basis van cijfers voor Akzo Hengelo en Frisia Zout geschat op 1,7 GJ_{stoom}/ton aan warmte en 0,1 GJ_e/ton aan elektriciteit (Ecofys , 1994), (AkzoNobel Hengelo, 2014), (Gielen, 2014).

Voor het indampen van de pekel benodigde warmte (en elektriciteit) wordt per locatie op verschillende manieren opgewekt:

- Frisia Zout neemt in een tegendrukstoomturbine geëxpandeerde stoom op lage druk af van de Omrin in Harlingen afvalverbrandingsinstallatie af.
- Bij Akzo Delfzijl wordt de benodigde stoom geleverd door een combinatie van installaties:
  - directe levering door aardgasgestookte installaties;
  - in een tegendrukstoomturbine geëxpandeerde stoom op middendrukstoom geleverd door een AVI (E.ON Energy from Waste Delfzijl);
  - in een tegendrukstoomturbine geëxpandeerde stoom op middendrukstoom geleverd door een biomassa WKC (Golden Raand van Eneco).
- Ook bij Akzo Hengelo wordt stoom betrokken van een diversiteit aan bronnen. Voor zover bekend zijn dat:
  - in een tegendrukstoomturbine geëxpandeerde stoom van een eigen gasgestookte ketel (Ketel 9);
  - lage druk aftapstoom van een AVI (Twence);
  - restwarmte van een pyrolyse-installatie (Empyro).

Beschouwde referentie voor energielevering aan strooizoutproductie

In deze studie is aangenomen dat de voor strooizoutproductie benodigde warmte en elektriciteit wordt geleverd door een gasketel met tegendrukturbine. Warmtelevering door AVI's of Bio-WKC's zijn buiten beschouwing gelaten.

AVI's hebben als hoofdtaak om afval te verwerken met als tweede doel zoveel mogelijk milieurendement daarbij te creëren door bijvoorbeeld maximale terugwinning van energie. Levering van lage drukstoom vanuit WKK-bedrijf van de AVI leidt tot CO_2-redcutie bij de afnemer. Een lagere energetische benutting door afzet van secundair zout van NAM lijkt daarom niet logisch.

De bio-energiecentrale wordt gesubsidieerd om zoveel mogelijk hernieuwbare energie te produceren en zijn kapitaalintensief. Ook hier leidt levering van lage drukstoom vanuit WKK-bedrijf van de bio-WKC tot CO_2-redcutie bij de afnemer. Warmtelevering vanuit de bio-WKC terugschroeven lijkt daarom minder logisch.

Gasketels bij de producent vergen relatief weinig kapitaal, maar hebben wel hoge operationele kosten en geven CO_2-emissies die voor rekening komen van de zoutproducent.

Aangehouden emissiecijfers en rendementen

In deze studie is uitgegaan van de gegevens voor Ketel 9 van de productielocatie van AkzoNobel in Hengelo (Cogen Nederland, 2004). Er is uitgegaan van volgende gegevens

- brandstofgebruik 150 MW;
- ketelrendement 90%;
- door tegendrukturbine geleverd vermogen 25,5 MW;
- warmtelevering aan indampen van pekel op 165°C
- thermisch en elektrisch rendement respectievelijk 17 en 73%;
- specifieke NO_x-emissie van 30,6 g/GJ brandstof (LCP-emissiedatabase 2010–2012).

Specifieke emissiefactoren voor geleverde warmte en elektriciteit zijn op conform dezelfde methodiek berekend als voor de WKC van NAM in Schoonebeek, uitgaande van de exergie van geproduceerde stoom en elektriciteit. De resulterende specifieke emissies zijn in Tabel 26 weergegeven. De gasketen is gemodelleerd met Nederlands gas volgens procesdata uit Ecoinvent.

Tabel 26 Gebruikte basisgegevens voor primaire zoutproductie

	Warmte	Elektriciteit
CO_2 kg/GJ	48,4	128,5
NO_x g/GJ	26,1	69,3
GJ aardgas/GJ	0,85	2,27
GJ/ton zout	1,67	0,1
GJ aardgas/ton zout	1.4	0.2
kg CO_2/ton zout	80.8	12.9
g NO_x/ton zout	43.6	6.9

Het resulterende milieuprofiel staat in de tabel outputs in Bijlage C.1.
De impacts zijn daarin negatief, omdat het uitgespaarde impacts betreft.

Bijlage C Themascores

C.1 Milieuprofielen inputs and outputs

In deze bijlage staan de milieuprofielen (impacts op in totaal 18 milieuthema's) voor elk van de gebruikte inputs en outputs.

Deze milieuprofielen zijn rechtstreeks overgenomen uit de modeldatabase waarin de meeste termen in het Engels staan. De milieuthema's staan op dezelfde volgorde als in tabellen en figuren in het hoofdrapport (bijvoorbeeld Tabel 16).

Tabel 27 Milieuprofielen voor procesinputs

Input	Unit	Climate change	Ozone depletion	Terrestrial acidification	Freshwater eutrophication	Marine eutrophication	Human toxicity
		kg CO_2 eq	kg CFC-$_{11}$ eq	kg SO_2 eq	kg P eq	kg N eq	kg 1,4-DB eq
Flocculant/coagulant IGF	kg	2.2E+00	3.0E-07	1.4E-02	8.7E-04	5.0E-04	9.3E-01
Electricity (NAM WKK)	MWh	2.8E+02	2.3E-05	1.5E-01	3.9E-03	1.0E-02	3.2E+00
$FeCl_3$ (100%)	kg	6.0E-01	2.1E-07	3.2E-03	4.3E-04	1.6E-04	5.1E-01
NaOH (100%)	kg	1.2E+00	7.6E-07	6.1E-03	7.4E-04	3.2E-04	7.1E-01
HCl (100%)	kg	5.0E-01	2.6E-07	2.9E-03	3.5E-04	1.5E-04	5.2E-01
Flocculant (other than IGF)	kg	2.2E+00	3.0E-07	1.4E-02	8.7E-04	5.0E-04	9.3E-01
Fresh GAC	kg	2.5E+00	1.1E-06	1.0E-02	1.6E-04	1.8E-04	2.7E-01
LP steam (own production)	GJ	6.7E+01	5.4E-06	2.0E-02	9.1E-04	1.3E-03	7.6E-01
Antiscalant	kg	2.2E+00	3.0E-07	1.4E-02	8.7E-04	5.0E-04	9.3E-01
Na_2CO_3 (100%)	kg	1.1E+00	1.1E-07	4.0E-03	4.8E-04	3.4E-03	4.9E-01
Citric acid (100%)	kg	7.0E+00	1.0E-06	4.3E-02	2.7E-03	8.4E-03	2.9E+00
Natural gas (no combustion)	Nm^3	1.3E-01	1.5E-07	3.1E-04	2.6E-05	1.8E-05	2.2E-02
ClO_2 (100%)	ton	7.5E+03	6.5E-04	4.4E+01	4.8E+00	3.4E+00	4.0E+03
H_2SO_4 (100%)	ton	1.6E+02	6.7E-05	6.5E+00	1.9E-01	7.2E-02	3.4E+02
Methanol (100%)	ton	5.6E+02	1.6E-04	5.4E+00	1.4E-01	7.4E-02	2.3E+02
Mijnbouwhulpstof, Antifoam, as per WIK	kg	8.3E-01	5.8E-07	5.6E-03	1.3E-04	1.4E-04	1.5E-01
Mijnbouwhulpstof, Biocide, as per WIK	kg	2.6E+00	5.8E-07	1.1E-02	9.5E-04	4.4E-04	1.2E+00
Mijnbouwhulpstof, Corosion inhibitor, as per WIK	kg	2.5E+00	2.9E-07	1.0E-02	6.7E-04	9.7E-04	7.7E-01
Mijnbouwhulpstof, Demulsifier, as per WIK	kg	1.1E+00	4.7E-07	6.0E-03	2.1E-04	1.7E-04	2.2E-01
Mijnbouwhulpstof, H_2S scavenger (bionutrient)(MSDS)	kg	2.2E+00	1.2E-07	8.6E-03	4.9E-04	3.0E-03	5.6E-01
Mijnbouwhulpstof, H_2S scavenger, triazine	kg	8.8E+00	2.1E-06	4.0E-02	3.4E-03	7.7E-03	3.9E+00
Mijnbouwhulpstof, oxygen scavenger, as per WIK	kg	2.2E+00	3.0E-07	1.4E-02	8.7E-04	5.0E-04	9.3E-01
Mijnbouwhulpstof, Scale inhibitor, as per WIK	kg	2.5E+00	2.0E-07	1.1E-02	6.9E-04	3.8E-04	6.6E-01
Mijnbouwhulpstof, Water clarifier, as per WIK	kg	3.4E+00	2.8E-07	1.7E-02	1.1E-03	5.5E-04	1.0E+00

Input	Unit	Photochemical oxidant formation	Particulate matter formation	Terrestrial ecotoxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Ionising radiation
		kg NMVOC	kg PM_{10} eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kBq U235 eq
Flocculant/coagulant IGF	kg	6.5E-03	5.5E-03	2.8E-04	3.6E-02	3.5E-02	2.1E-01
Electricity (NAM WKK)	MWh	2.5E-01	6.7E-02	1.1E-03	1.3E-01	3.3E-01	1.2E+00
$FeCl_3$ (100%)	kg	1.9E-03	1.9E-03	7.2E-05	2.2E-02	2.0E-02	9.5E-02
NaOH (100%)	kg	3.6E-03	3.8E-03	1.3E-04	2.4E-02	2.3E-02	2.3E-01
HCl (100%)	kg	1.7E-03	1.1E-03	3.1E-04	1.4E-02	1.5E-02	1.4E-01
Flocculant (other than IGF)	kg	6.5E-03	5.5E-03	2.8E-04	3.6E-02	3.5E-02	2.1E-01
Fresh GAC	kg	6.2E-03	3.9E-03	9.8E-05	1.3E-02	1.1E-02	3.9E-01
LP steam (own production)	GJ	3.1E-02	9.7E-03	2.6E-04	3.1E-02	7.9E-02	2.8E-01
Antiscalant	kg	6.5E-03	5.5E-03	2.8E-04	3.6E-02	3.5E-02	2.1E-01
Na_2CO_3 (100%)	kg	2.1E-03	1.3E-03	1.3E-04	1.1E-02	1.1E-02	2.9E-01
Citric acid (100%)	kg	2.0E-02	1.7E-02	1.0E-02	9.8E-02	9.4E-02	4.6E-01
Natural gas (no combustion)	Nm^3	4.0E-04	1.7E-04	7.5E-06	9.0E-04	2.2E-03	7.9E-03
ClO_2 (100%)	ton	2.2E+01	2.3E+01	9.5E-01	1.8E+02	1.5E+02	1.6E+03
H_2SO_4 (100%)	ton	1.8E+00	1.6E+00	4.0E-02	9.4E+00	8.9E+00	3.1E+01
Methanol (100%)	ton	2.4E+00	1.5E+00	1.0E-01	9.2E+00	5.3E+00	2.6E+01
Mijnbouwhulpstof, Antifoam, as per WIK	kg	4.2E-03	1.9E-03	8.0E-05	6.0E-03	5.2E-03	2.2E-01
Mijnbouwhulpstof, Biocide, as per WIK	kg	8.4E-03	4.4E-03	7.5E-04	3.4E-02	3.6E-02	3.4E-01
Mijnbouwhulpstof, Corosion inhibitor, as per WIK	kg	8.7E-03	4.4E-03	7.4E-03	2.7E-02	2.5E-02	1.9E-01
Mijnbouwhulpstof, Demulsifier, as per WIK	kg	5.0E-03	2.2E-03	9.6E-05	8.7E-03	7.6E-03	1.9E-01
Mijnbouwhulpstof, H_2S scavenger (bionutrient)(MSDS)	kg	7.8E-03	3.5E-03	1.4E-04	2.2E-02	2.0E-02	1.5E-01
Mijnbouwhulpstof, H_2S scavenger, triazine	kg	2.4E-02	1.9E-02	1.7E-03	1.3E-01	1.3E-01	8.8E-01
Mijnbouwhulpstof, oxygen scavenger, as per WIK	kg	6.5E-03	5.5E-03	2.8E-04	3.6E-02	3.5E-02	2.1E-01
Mijnbouwhulpstof, Scale inhibitor, as per WIK	kg	9.0E-03	5.0E-03	2.0E-04	2.5E-02	2.2E-02	1.6E-01
Mijnbouwhulpstof, Water clarifier, as per WIK	kg	1.1E-02	7.6E-03	2.8E-04	3.8E-02	3.4E-02	2.7E-01

Input	Unit	Agricultural land occupation	Urban land occupation	Natural land transformation	Water depletion	Metal depletion	Fossil depletion	Data Ecoinvent of own model
		m^2a	m^2a	m^2	m^3	kg Fe eq	kg oil eq	
Flocculant/ coagulant IGF	Kg	1.4E-01	4.3E-02	3.9E-04	8.2E-02	1.4E-01	5.2E-01	Chemical, inorganic {GLO}| market for chemicals, inorganic | Alloc Def, S
Electricity (NAM WKK)	MWh	1.1E+00	1.1E-01	1.2E-01	1.9E-01	1.3E+00	1.4E+02	WKC, elektriciteits-productie (SimaPro-model)
$FeCl_3$ (100%)	Kg	5.5E-02	9.5E-03	9.8E-05	1.4E-02	1.1E-01	1.5E-01	Iron(III) chloride, without water, in 14% iron solution state {GLO}| market for | Alloc Def, S
NaOH (100%)	kg	8.6E-02	1.4E-02	1.7E-04	4.4E-02	7.7E-02	3.1E-01	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO}| market for | Alloc Def, S
HCl (100%)	kg	6.4E-02	8.0E-03	8.8E-05	1.7E-02	6.2E-02	1.8E-01	Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RER}| market for | Alloc Def, S
Flocculant (other than IGF)	kg	1.4E-01	4.3E-02	3.9E-04	8.2E-02	1.4E-01	5.2E-01	Chemical, inorganic {GLO}| market for chemicals, inorganic | Alloc Def, S
Fresh GAC	kg	2.3E-02	1.1E-02	2.2E-03	1.8E-03	7.3E-02	2.0E+00	Carbon black {GLO}| market for | Alloc Def, S
LP steam (own production)	GJ	2.5E-01	2.6E-02	2.9E-02	4.6E-02	3.0E-01	3.4E+01	1 GJ LP steam for use in own processes (SimaPro-model)
Antiscalant	kg	1.4E-01	4.3E-02	3.9E-04	8.2E-02	1.4E-01	5.2E-01	Chemical, inorganic {GLO}| market for chemicals, inorganic | Alloc Def, S
Na_2CO_3 (100%)	kg	2.7E-02	6.0E-03	2.7E-04	5.1E-02	1.2E-01	3.5E-01	Sodium carbonate from ammonium chloride production, at plant/GLO S
Citric acid (100%)	kg	1.6E+00	1.3E-01	8.0E-04	3.7E-01	3.4E-01	1.6E+00	Citric acid {GLO}| market for | Alloc Def, S
Natural gas (no combustion)	Nm^3	7.2E-03	7.5E-04	8.3E-04	1.3E-03	8.5E-03	9.6E-01	Natural gas, high pressure {NL}| market for | Alloc Def, S

Input	Unit	Agricultural land occupation	Urban land occupation	Natural land transformation	Water depletion	Metal depletion	Fossil depletion	Data Ecoinvent of own model
		m^2a	m^2a	m^2	m^3	kg Fe eq	kg oil eq	
ClO_2 (100%)	ton	5.6E+02	6.8E+01	1.1E+00	2.7E+02	4.6E+02	2.0E+03	Chlorine dioxide {GLO}| market for | Alloc Def, S
H_2SO_4 (100%)	ton	1.6E+01	5.0E+00	1.4E-01	2.2E+01	6.8E+01	1.4E+02	Sulfuric acid {GLO}| market for | Alloc Def, S
Methanol (100%)	ton	6.1E+00	4.7E+00	3.1E-01	5.0E+00	3.3E+01	7.0E+02	Methanol {GLO}| market for | Alloc Def, S
Mijnbouwhulpstof, Antifoam, as per WIK	kg	1.4E-02	6.5E-03	1.2E-03	1.8E-02	2.5E-02	1.3E+00	SimaPro-model, zie Bijlage B1
Mijnbouwhulpstof, Biocide, as per WIK	kg	2.0E-01	1.7E-02	2.9E-04	1.9E-01	1.3E-01	1.3E+00	SimaPro-model, zie Bijlage B1
Mijnbouwhulpstof, Corosion inhibitor, as per WIK	kg	2.1E-01	1.5E-02	5.3E-03	1.6E-01	9.7E-02	1.3E+00	SimaPro-model, zie Bijlage B1
Mijnbouwhulpstof, Demulsifier, as per WIK	kg	2.2E-02	7.3E-03	9.3E-04	3.0E-02	3.6E-02	1.3E+00	SimaPro-model, zie Bijlage B1
Mijnbouwhulpstof, H_2S scavenger (bionutrient)(MSDS)	kg	6.3E-02	1.1E-02	2.4E-04	1.1E-01	9.5E-02	1.4E+00	SimaPro-model, zie Bijlage B1
Mijnbouwhulpstof, H_2S scavenger, triazine	kg	4.4E-01	6.2E-02	9.6E-04	2.0E-01	5.0E-01	3.1E+00	SimaPro-model, zie Bijlage B1
Mijnbouwhulpstof, oxygen scavenger, as per WIK	kg	1.4E-01	4.3E-02	3.9E-04	8.2E-02	1.4E-01	5.2E-01	SimaPro-model, zie Bijlage B1
Mijnbouwhulpstof, Scale inhibitor, as per WIK	kg	1.0E-01	1.5E-02	3.2E-04	2.2E-01	8.5E-02	1.4E+00	SimaPro-model, zie Bijlage B1
Mijnbouwhulpstof, Water clarifier, as per WIK	kg	2.0E-01	2.3E-02	4.8E-04	4.5E-01	1.2E-01	1.5E+00	SimaPro-model, zie Bijlage B1

Tabel 28 Milieuprofielen voor proces-outputs

Output	Unit	Climate change	Ozone depletion	Terrestrial acidification	Freshwater eutrophication	Marine eutrophication	Human toxicity
		kg CO_2 eq	kg CFC-$_{11}$ eq	kg SO_2 eq	kg P eq	kg N eq	kg 1,4-DB eq
Dewatered sludge 75%dm (IGF + NSF) (1,2,3)(Maasvlakte)	kg	4.0E-01	2.4E-08	1.0E-03	4.0E-05	4.7E-05	5.0E-02
Alternatief 1, effluent to surface (fresh) water (comp 2016)	m^3					1.6E-02	2.6E-06
Degasser and MVR KO Vapor to OBI (1,3)	Kg	8.6E-01	-6.0E-09	8.8E-02	-2.8E-06	-1.7E-06	-2.1E-03
Crystallized salts (dewatered, with some water)(1)(landfill)	kg	2.5E-02	3.4E-09	1.4E-04	2.1E-06	7.2E-06	3.6E-03
Ammoniumsulfate solution from scrubber (1,3) (re use)	kg	-3.6E-01	-3.2E-08	-2.2E-03	-1.6E-04	-6.0E-05	-2.3E-01
Degasser Vapor to OBI (4)	kg	8.5E-01	-6.9E-09	9.4E-02	-3.2E-06	-2.0E-06	-2.5E-03
Alternatief 4, effluent to injection (empty)	m^3						
Dewatered sludge 75%dm (IGF + NSF) (1,2,3)(landfill)	kg	2.5E-02	3.4E-09	1.4E-04	2.1E-06	7.2E-06	3.6E-03
Variant 1, Salltech, effluent to surface (fresh) water (comp 2016)	m^3					1.7E-02	1.1E-05
Salt NaCl, avoided production	Kg	-9.9E-02	-7.0E-09	-4.2E-05	-1.2E-06	-2.8E-06	-9.9E-04
Variant 1, TU Delft, effluent to surface (fresh) water (as Salttech)	m^3					1.7E-02	1.1E-05

Output	Unit	Photochemical oxidant formation	Particulate matter formation	Terrestrial ecotoxicity	Freshwater ecotoxicity	Marine ecotoxicity	Ionising radiation
		kg NMVOC	kg PM_{10} eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kBq U235 eq
Dewatered sludge 75%dm (IGF + NSF) (1,2,3)(Maasvlakte)	Kg	1.1E-03	4.9E-04	2.9E-05	1.4E-03	1.4E-03	1.5E-02
Alternatief 1, effluent to surface (fresh) water (comp 2016)	m^3			1.6E-07	6.0E-05	1.5E-07	1.2E-03
Degasser and MVR KO Vapor to OBI (1,3)	Kg	7.1E-03	1.8E-02	-5.1E-07	-1.1E-04	-1.1E-04	-1.6E-03
Crystallized salts (dewatered, with some water)(1)(landfill)	Kg	2.1E-04	7.1E-05	4.0E-06	1.3E-04	1.4E-04	1.5E-03
Ammoniumsulfate solution from scrubber (1,3) (re use)	Kg	-1.1E-03	-8.1E-04	-2.6E-05	-9.6E-03	-8.9E-03	-1.7E-02
Degasser Vapor to OBI (4)	Kg	7.6E-03	1.9E-02	-5.9E-07	-1.3E-04	-1.2E-04	-1.9E-03
Alternatief 4, effluent to injection (empty)	m^3						
Dewatered sludge 75%dm (IGF + NSF) (1,2,3)(landfill)	Kg	2.1E-04	7.1E-05	4.0E-06	1.3E-04	1.4E-04	1.5E-03
Variant 1, Salltech, effluent to surface (fresh) water (comp 2016)	m^3			6.8E-07	2.4E-04	6.1E-07	1.2E-03
Salt NaCl, avoided production	Kg	-6.9E-05	-1.9E-05	-3.4E-07	-4.1E-05	-1.0E-04	-3.6E-04
Variant 1, TU Delft, effluent to surface (fresh) water (as Salttech)	m^3			6.8E-07	2.4E-04	6.1E-07	1.2E-03

Output	Unit	Agricultural land occupation	Urban land occupation	Natural land transformation	Water depletion	Metal depletion	Fossil depletion	SimaPro-models
		m^2a	m^2a	m^2	m^3	kg Fe eq	kg oil eq	
Dewatered sludge 75%dm (IGF + NSF) (1,2,3)(Maasvlakte)	kg	5.5E-03	1.2E-02	5.8E-05	2.2E-03	5.9E-03	6.4E-02	Residu IGF/NSF to landfill (no immission to soil or air, radioactive 'vergunningsplichtig')
Variant 1, effluent to surface (fresh) water (comp 2016)	m^3							Composition 2016, SimaPro-model
Degasser and MVR KO Vapor to OBI (1,3)	kg	-2.5E-04	-2.8E-05	-1.0E-05	-6.5E-05	-2.9E-04	-1.5E-02	Degasser and MVR KO Vapor to OBI (Variant 1,3)(CO_2, SO_2 emission, avoided ngas in low-NO_x furnace)
Crystallized salts (dewatered, with some water)(1)(landfill)	kg	2.6E-04	1.7E-03	1.0E-05	7.3E-04	8.6E-04	1.1E-02	1 kg Residu to normal landfill (no immission to soil, no high radioactive content) (Salts)
Ammoniumsulfate solution from scrubber (1,3) (re use)	kg	-4.1E-02	-3.0E-03	-5.8E-05	-1.8E-03	-6.3E-02	-1.0E-01	Residu, $(NH_4)_2SO_4$, re-use

Output	Unit	Agricultural land occupation	Urban land occupation	Natural land transformation	Water depletion	Metal depletion	Fossil depletion	SimaPro-models
		m^2a	m^2a	m^2	m^3	kg Fe eq	kg oil eq	
Degasser Vapor to OBI (4)	kg	-2.9E-04	-3.3E-05	-1.2E-05	-7.5E-05	-3.4E-04	-1.7E-02	Degasser Vapor to OBI (Alternatief 4) (CO_2, SO_2 emission, avoided ngas in low-NO_x furnace)
Alternatief 4, effluent to injection (empty)	m^3							No emissions for injection
Dewatered sludge 75%dm (IGF + NSF) (1,2,3)(landfill)	Kg	2.6E-04	3.2E-03	1.0E-05	7.3E-04	8.6E-04	1.1E-02	1 kg Residu to normal landfill (no immission to soil, no high radioactive content) (IGF NSF)
Variant 1, Salltech, effluent to surface (fresh) water (comp 2016)	m^3							Composition 2016, SimaPro-model
Salt NaCl, avoided production	Kg	-3.3E-04	-3.4E-05	-3.8E-05	-5.9E-05	-3.8E-04	-4.4E-02	1kg Zout, productie Akzo
Variant 1, TU Delft, effluent to surface (fresh) water (as Salttech)	m^3							Composition 2016, SimaPro-model

C.2 Milieuprofielen per categorie voor de alternatieven

Tabel 29 Absolute detailscores voor Alternatief 1, Variant Tussenrapport (2022)

	Totaal	Elektriciteit	Stoom	Chemicaliën	Mijnbouw-hulpstoffen	Hergebruik	Reststof-verwerking	Effluent (final)
Broeikaseffect	276956	90012	169920	8352	949	-259	7982	0
Aantasting ozonlaag	0.025	0.007	0.014	0.004	0.000	0.000	0.001	0
Verzuring	491	48	51	49	5	-2	341	0
Vermesting (zoetwater)	9.4	1.2	2.3	5.2	0.3	-0.1	0.4	0
Vermesting (zee/oceaan)	139	3.2	3.3	2.6	0.2	0.0	1.4	128
Humane toxiciteit	9360	1026	1927	5588	267	-162	714	0.02
Smogvorming	252	78	77	26	3	-1	68	0
Fijnstofvorming	148	21	24	24	2	-1	77	0
Ecotoxiciteit (bodem)	4	0.35	0.66	1.83	0.08	-0.02	0.8	0.001
Ecotoxiciteit (zoetwater)	341	42	79	190	10	-7	25	0.5
Ecotoxiciteit (zee/oceaan)	514	105	198	180	9	-6	28	0.001
Radioactieve straling	3216	371	698	1768	81	-12	300	10
Landgebruik (landbouw)	1733	341	640	685	46	-29	50	0
Landgebruik (stedelijk)	538	35	66	99	6	-2	334	0
Landtransformatie	117	39	74	1.4	0.2	0.0	2.0	0
Wateronttrekking	725	62	116	302	101	-1	147	0
Uitputting (metalen)	1969	399	750	659	33	-45	171	0
Uitputting (fossiel)	135808	45406	85308	2492	536	-73	2139	0

Tabel 30 Absolute detailscores voor Alternatief 1, Variant Salttech (2022)

	Totaal	Elektriciteit	Stoom	Chemicaliën	Mijnbouw-hulpstoffen	Hergebruik	Reststof-verwerking	Effluent (final)
Broeikaseffect	164697	120055	44829	3297	949	-9839	5405	0
Aantasting ozonlaag	0.01	0.01	0.004	0.000	0.000	-0.001	0.000	0
Verzuring	422	63	13	19	5	-4	326	0
Vermesting (zoetwater)	4.6	1.6	0.6	2.0	0.3	-0.1	0.2	0
Vermesting (zee/oceaan)	145	4.2	0.9	1.4	0.2	-0.3	0.7	137.5
Humane toxiciteit	4027	1368	508	1674	267	-127	337	0.09
Smogvorming	176	104	20	9	3	-7	46	0
Fijnstofvorming	114	28	6	10	2	-2	69	0
Ecotoxiciteit (bodem)	1.5	0.5	0.2	0.4	0.1	-0.04	0.4	0.005
Ecotoxiciteit (zoetwater)	171	56	21	75	10	-5	12	1.9
Ecotoxiciteit (zee/oceaan)	268	141	52	64	9	-11	13	0.005
Radioactieve straling	1558	495	184	685	81	-38	140	9.9
Landgebruik (landbouw)	886	454	169	231	46	-38	24	0
Landgebruik (stedelijk)	257	47	17	31	6	-4	159	0
Landtransformatie	70	52	19	0.6	0.2	-3.7	0.9	0
Wateronttrekking	391	82	30	114	101	-6	70	0
Uitputting (metalen)	994	532	198	195	33	-46	81	0
Uitputting (fossiel)	81283	60561	22507	1001	536	-4315	994	0

Tabel 31 Absolute detailscores voor Variant 4.1 (2022)

	Totaal	Elektriciteit	Stoom	Chemicaliën	Mijnbouwhulpstoffen	Verpompen/injectie
Broeikaseffect	22735.9	0	0	0	12571.6	10164.2
Aantasting ozonlaag	0.003	0	0	0	0.002	0.001
Verzuring	57.6	0	0	0	52.2	5.4
Vermesting (zoetwater)	4.3	0	0	0	4.2	0.1
Vermesting (zee/oceaan)	5.4	0	0	0	5.0	0.4
Humane toxiciteit	5335.1	0	0	0	5219.3	115.8
Smogvorming	50.9	0	0	0	42.1	8.8
Fijnstofvorming	24.2	0	0	0	21.8	2.4
Ecotoxiciteit (bodem)	6.2	0	0	0	6.2	0.04
Ecotoxiciteit (zoetwater)	160.1	0	0	0	155.4	4.8
Ecotoxiciteit (zee/oceaan)	168.3	0	0	0	156.4	11.9
Radioactieve straling	1443.9	0	0	0	1401.9	41.9
Landgebruik (landbouw)	899.0	0	0	0	860.5	38.5
Landgebruik (stedelijk)	83.4	0	0	0	79.5	4.0
Landtransformatie	8.3	0	0	0	3.9	4.4
Wateronttrekking	897.6	0	0	0	890.6	6.9
Uitputting (metalen)	628.7	0	0	0	583.6	45.1
Uitputting (fossiel)	11652.4	0	0	0	6525.1	5127.3

Tabel 32 Absolute detailscores voor Variant 4.2 (2022)

	Totaal	Elektriciteit	Stoom	Chemicaliën	Mijnbouwhulpstoffen	Verpompen/injectie
Broeikaseffect	14542.8	0	0	0	4378.6	10164.2
Aantasting ozonlaag	0.001	0	0	0	0.000	0.001
Verzuring	23.5	0	0	0	18.1	5.4
Vermesting (zoetwater)	1.3	0	0	0	1.1	0.1
Vermesting (zee/oceaan)	3.9	0	0	0	3.6	0.4
Humane toxiciteit	1335.2	0	0	0	1219.3	115.8
Smogvorming	24.1	0	0	0	15.2	8.8
Fijnstofvorming	10.1	0	0	0	7.7	2.4
Ecotoxiciteit (bodem)	3.8	0	0	0	3.8	0.04
Ecotoxiciteit (zoetwater)	50.3	0	0	0	45.6	4.8
Ecotoxiciteit (zee/oceaan)	54.1	0	0	0	42.2	11.9
Radioactieve straling	355.5	0	0	0	313.5	41.9
Landgebruik (landbouw)	247.9	0	0	0	209.4	38.5
Landgebruik (stedelijk)	30.6	0	0	0	26.6	4.0
Landtransformatie	7.4	0	0	0	2.9	4.4
Wateronttrekking	277.3	0	0	0	270.4	6.9
Uitputting (metalen)	224.5	0	0	0	179.5	45.1
Uitputting (fossiel)	7596.3	0	0	0	2469.1	5127.3

Tabel 33 Absolute detailscores voor Variant 4.3 (2022)

	Totaal	Elektriciteit	Stoom	Chemicaliën	Mijnbouw-hulpstoffen	Verpompen/ injectie
Broeikaseffect	12419.1	0	0	0	2254.9	10164.2
Aantasting ozonlaag	0.001	0	0	0	0.000	0.001
Verzuring	15.3	0	0	0	9.9	5.4
Vermesting (zoetwater)	0.8	0	0	0	0.6	0.1
Vermesting (zee/oceaan)	1.0	0	0	0	0.7	0.4
Humane toxiciteit	801.5	0	0	0	685.7	115.8
Smogvorming	16.6	0	0	0	7.8	8.8
Fijnstofvorming	6.7	0	0	0	4.3	2.4
Ecotoxiciteit (bodem)	3.7	0	0	0	3.7	0.04
Ecotoxiciteit (zoetwater)	29.3	0	0	0	24.6	4.8
Ecotoxiciteit (zee/oceaan)	34.6	0	0	0	22.7	11.9
Radioactieve straling	214.1	0	0	0	172.2	41.9
Landgebruik (landbouw)	187.2	0	0	0	148.7	38.5
Landgebruik (stedelijk)	19.6	0	0	0	15.6	4.0
Landtransformatie	7.2	0	0	0	2.7	4.4
Wateronttrekking	169.6	0	0	0	162.7	6.9
Uitputting (metalen)	133.6	0	0	0	88.5	45.1
Uitputting (fossiel)	6276.5	0	0	0	1149.3	5127.3

Tabel 34 Absolute detailscores voor Variant 4.4 (2022)

	Totaal	Elektriciteit	Stoom	Chemicaliën	Mijnbouw-hulpstoffen	Verpompen/ injectie	Reststof-verwerking
Broeikaseffect	31482.5	0	0	16374	2179.1	10140.1	2789.2
Aantasting ozonlaag	0.005	0	0	0.004	0.000	0.001	0.000
Verzuring	419.7	0	0	95	9.6	5.4	309.5
Vermesting (zoetwater)	11.6	0	0	11	0.6	0.1	-0.01
Vermesting (zee/oceaan)	7.6	0	0	7	0.6	0.4	-0.01
Humane toxiciteit	12097.8	0	0	11337	652.9	115.6	-8.1
Smogvorming	91.0	0	0	50	7.5	8.8	25.0
Fijnstofvorming	114.4	0	0	46	4.2	2.4	61.9
Ecotoxiciteit (bodem)	8.2	0	0	4.5	3.6	0.04	-0.002
Ecotoxiciteit (zoetwater)	445.7	0	0	418	23.5	4.8	-0.4
Ecotoxiciteit (zee/oceaan)	419.5	0	0	386	21.7	11.9	-0.4
Radioactieve straling	4117.2	0	0	3917	164.7	41.8	-6.3
Landgebruik (landbouw)	1668.5	0	0	1486	144.9	38.4	-0.9
Landgebruik (stedelijk)	202.6	0	0	184	15.1	4.0	-0.1
Landtransformatie	9.7	0	0	2.6	2.7	4.4	-0.04
Wateronttrekking	757.4	0	0	590	160.7	6.9	-0.2
Uitputting (metalen)	1443.3	0	0	1315	84.3	45.0	-1.1
Uitputting (fossiel)	11082.1	0	0	4901	1121.7	5115.1	-56.2