

LCA wegzout

Rijkswaterstaat Verkeer en watermanagement

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Verkeer en watermanagement

Contactpersoon

Wendy van Schijndel

Kenmerk

R002_02_L240141

Versie

02

Datum

7 oktober 2024

Auteur

Benthe Vermaas

Dirk-Jan Simons

Inhoudsopgave

Verklarende woordenlijst en afkortingen	4
Normen.....	4
Literatuurlijst.....	5
1 Inleiding	6
1.1 Verantwoording	6
1.2 Doelstelling en doelgroep.....	6
1.3 Leeswijzer.....	6
2 Scope	7
2.1 Beschrijving bedrijf en product	7
2.2 Productomschrijving en functionele eenheid.....	7
Technische levensduur	7
2.3 Systeemgrenzen.....	7
2.3.1 Procesboom	8
2.3.2 Omschrijving levensfasen	8
2.4 Criteria voor het buiten beschouwing laten van input en output.....	9
2.5 Uitgesloten processen en stromen.....	9
3 Levenscyclusinventarisatie (LCI) en modellering	10
3.1 Dataverzameling	10
3.2 Literatuuronderzoek	10
3.3 Kwalitatieve/kwantitatieve procesgegevens	13
3.3.1 Zoutwinning	13
3.3.2 Transport van zoutmijn naar opslaglocaties RWS.....	21
3.4 Datavalidatie.....	24
Generieke gegevens	25
4 Life cycle assessment (LCA)	26
4.1 Berekening milieuprofiel.....	26
Compleetheid milieu ingrepen.....	26
4.2 LCA-rekenresultaten samenvatting en schaduw prijzen	26
4.3 Zwaartepuntanalyse.....	28
4.3.1 Relevante milieueffecten	28
4.3.2 Relevante levensfasen	29
4.3.3 Relevante processen	31
4.3.4 Vergelijking productie zouten per land.....	34
4.4 Gevoeligheidsanalyse.....	36
4.4.1 Zeezout productie.....	36

4.4.2	Steenzout.....	39
4.4.3	Vacuümzout	42
4.4.4	Overkoepelende conclusie gevoeligheidsanalyses.....	46
5	Calculatietool	49
5.1	Inputdata.....	49
5.1.1	Winning (A1)	49
5.1.2	Transport (A2)	50
5.2	Gebruik calculatietool	52
5.2.1	Invoermodule.....	52
5.2.2	Resultaten.....	54
	Bijlage I – Inventarisatie transport.....	55
	Bijlage II – Rekenresultaten, zwaartepuntanalyse en gevoeligheidsanalyse.....	56
	Bijlage III – Calculatietool	57

Verklarende woordenlijst en afkortingen

EPD	Environmental Product Declaration/Milieuverklaring voor producten
NMD	Nationale Milieudatabase
Bepalingsmethode	De Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken, versie 1.1 (maart 2022 met amendement 1 van oktober 2020, amendement 2 van februari 2021 en amendement 3 van oktober 2021.
Toetsingsprotocol	Toetsingsprotocol versie 1.0, juli 2020. Wijzigingsblad Amendement 1 (februari 2021) NMD-Toetsingsprotocol.

Normen

<i>EN15804+A2</i>	NEN-EN 15804:2012 + A2 (2019) <i>"Duurzaamheid van bouwwerken - Milieuverklaringen van producten - Basisregels voor de productgroep bouwproducten"</i>
<i>ISO 14025</i>	ISO 14025:2010 "Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures"
<i>ISO 14044</i>	ISO 14044:2006 "Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines"
<i>Bepalingsmethode</i>	Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken, versie 1.1, maart 2022, met amendement 1 van oktober 2020 en amendement 2 van februari 2021

Literatuurlijst

- BRControls. (z.d.). Akzo Nobel Hengelo. BRControls. Geraadpleegd op 23 mei 2024, van <https://www.brcontrols.com/en/about-brcontrols/projects/akzo-nobel-hengelo>
- Ecoinvent. (z.d.). ecoinvent 3.6 Dataset Documentation: "salt production from seawater, evaporation pond - GLO - salt". In *Ecoinvent 3.6*. <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.6/cutoff/dataset/21444/export>
- Ecoinvent. (2007). Life Cycle Inventory of Chemicals. In *Ecoinvent 3.6*. https://db.ecoinvent.org/reports/08_Chemicals.pdf
- García-Herrero, I., Margallo, M., Onandía, R., Aldaco, R., & Irabien, Á. (2017). Connecting wastes to resources for clean technologies in the chlor-alkali industry: a life cycle approach. *Clean Technologies And Environmental Policy*, 20(2), 229–242. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1397-y>
- GC Rieber. (2022). *Environmental Product Declaration: Sodium chloride (NaCl) from rock salt* (The Norwegian EPD Foundation; NEPD-3859-2812-EN).
- Holtkamp, M. (2011). *Industrieel toepasbaar stoom geproduceerd met ultradiepe geothermie*. <https://essay.utwente.nl/62469/>
- Mesta. (2023). *Environmental Product Declaration: Sodium chloride in bulk (NaCl) from sea salt – De-icing salt* (The Norwegian EPD Foundation; declaration number NEPD-4159-3399-EN).
- Nobian. (2022). *SALT IMPACT STUDY: THE SOCIETAL AND ECONOMIC IMPORTANCE OF SUSTAINABLE SALT MINING IN THE NETHERLANDS*. <https://cms.nobian.com/uploads/Roland%20Berger%20Rapport/Nobian%20Salt%20Impact%20Study%20Roland%20Berger%20EN%20vFinal2.pdf>
- RVO. (2011). Stoomleiding win-win-situatie voor strategische partners AkzoNobel en Twence. In *AkzoNobel Industrial Chemicals* [Report; PDF]. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2015/06/Stoomleiding%20win-win%20situatie%20voor%20strategische%20partners%20AkzoNobel%20en%20Twence.pdf>
- Sedivy, V. M. (2006). *Upgrading and refining of salt for industrial and human consumption Proceedings of the International Conference on Salt* [Presentatieslides].
- Solution mining. (z.d.). Geraadpleegd op 23 mei 2024, van <https://www.saltworkconsultants.com/solution-mining/#:~:text=Solution%20mining%20can%20substitute%20for,variable%20for%20conventional%20mining%20methods.>
- Stettler, C., & Kägi, T. (2019). *Eco-balance of Au8ausalz: Comparison of local evaporated salt production in Riburg compared to different imports of evaporated salt, rock salt and sea salt*.
- Stettler, C., Kägi, T., & Carbotech AG. (2019). Ökobilanz AUKausalze. In Schweizer Salinen AG, *Ökobilanz AUKausalze* (pp. 1–24). <https://carbotech.ch/cms/wp-content/uploads/%C3%96kobilanz-Auftausalz-Riburg-v2.2cs.pdf>
- TNO. (2021). *DECARBONISATION OPTIONS FOR THE DUTCH SALT INDUSTRY*. <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2021-decarbonisation-options-for-the-dutch-salt-industry-3477.pdf>
- Westphal, G., Kristen, G., Wegener, G., Ambatiello, P., Geyer, H., Bonal, B. E. C., Steinhäuser, G., & Götzfried, F. (2012). Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. In *Wiley eBooks*. <https://doi.org/10.1002/14356007>

1 Inleiding

In opdracht van Rijkswaterstaat Verkeer en Watermanagement (hierna: 'Rijkswaterstaat') heeft LBP|SIGHT een levenscyclusanalyse (LCA) uitgevoerd voor wegzout.

1.1 Verantwoording

De LCA is zo goed mogelijk¹ uitgevoerd conform de eisen en richtlijnen uit de *Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken (versie 1.1, maart 2022)* en het *NMD-toetsingsprotocol (versie 1, juli 2020 + Amendement 1, februari 2021)*. De Bepalingsmethode is gebaseerd op de *ISO 14040 - ISO14044* en de *NEN-EN 15804:2012 + A2 (2019)*². De basisprofielen voldoen aanvullend ook aan de eisen uit de *NEN-EN-ISO 14025:2010* voor EPD.

De LCA is uitgevoerd in samenwerking tussen LBP|SIGHT en Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat heeft de data-verzameling omtrent de inkoop en het transport verzorgd voor dit dossier. Aansluitend aan de dataverzameling heeft LBP|SIGHT de berekeningen uitgevoerd en het LCA-dossier opgesteld. De LCA-uitvoerders zijn Benthe Vermaas en Dirk-Jan Simons.

1.2 Doelstelling en doelgroep

Het doel van de studie is het vaststellen van het milieuprofiel van het ingekochte wegzout van Rijkswaterstaat en het samenstellen van een LCA-dossier. De resultaten kunnen intern door de opdrachtgever gebruikt worden om de verschillende ingekochte wegzoutvarianten te kunnen beoordelen aan de hand van hun milieuprestatie.

De doelgroepen voor de resultaten van deze studie zijn als volgt:

- Rijkswaterstaat als opdrachtgever van deze LCA-studie.
- Afnemers van wegzout van Rijkswaterstaat.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de scope van de studie nader toegelicht en is de procesboom opgenomen met toelichting. In hoofdstuk 3 is de verantwoording van de data-inventarisatie gegeven. De LCA-resultaten worden gepresenteerd en besproken in hoofdstuk 4, dit hoofdstuk bevat ook een zwaartepunt- en gevoeligheidsanalyse. In hoofdstuk 5 wordt de ontwikkelde calculatietool toegelicht.

¹ De productgegevens van de winningslocaties van het wegzout zijn niet geïnventariseerd, omdat het zout niet rechtstreeks van de winningslocaties ingekocht wordt. Nader toegelicht in Sectie 3.1.

² Alleen het optellen van milieu-impactscores tot een totaalscore (de MKI, zie hoofdstuk 4.6) valt buiten de ISO14044.

2 Scope

2.1 Beschrijving bedrijf en product

Rijkswaterstaat koopt zout in om in Nederland toegepast te worden als wegzout. Het betreft de inkoop van zeezout, steenzout en vacuümzout, in de jaren 2016 – 2023 afkomstig uit Nederland, Duitsland, Marokko, Egypte en Tunesië.

2.2 Productomschrijving en functionele eenheid

Deze studie omvat drie productvarianten waarvoor een levenscyclusprofiel is opgesteld (cradle-to-gate). De volgende producteenheid hanteren we in deze LCA-studie:

- 1 ton zeezout, voor toepassing als wegzout, geproduceerd in Tunesië, ingekocht en opgeslagen door Rijkswaterstaat.
- 1 ton steenzout, voor toepassing als wegzout, geproduceerd in Duitsland, Egypte en Marokko, ingekocht en opgeslagen door Rijkswaterstaat.
- 1 ton vacuümzout, voor toepassing als wegzout, geproduceerd in Nederland en Duitsland, ingekocht en opgeslagen door Rijkswaterstaat.

Technische levensduur

In overeenstemming met de EN15804 richtlijn kan er binnen de scope van deze cradle-to-gate LCA geen technische levensduur worden vastgelegd, omdat een producteenheid is toegepast als referentie eenheid³.

2.3 Systeemgrenzen

De processen die binnen de LCA worden bekeken zijn afgebakend met zogenaamde systeemgrenzen. De systeemgrenzen bepalen welke fasen en processen van de levenscyclus worden meegenomen in de LCA. In Tabel 2.1, volgend uit *EN 15804* en de *Bepalingsmethode*, staat vastgelegd welke informatie er per levenscyclusfase beschouwd moet worden. In deze LCA is alleen de milieu-impact van de productiefase (module A1-A3) gedeclareerd.

³ De technische levensduur heeft betrekking op producten in bouwwerken. Omdat het wegzout niet als product wordt toegepast in een bouwwerk, maar een middel is in een proces (gladheidsbestrijding), is de technische levensduur niet van toepassing.

Tabel 2.1

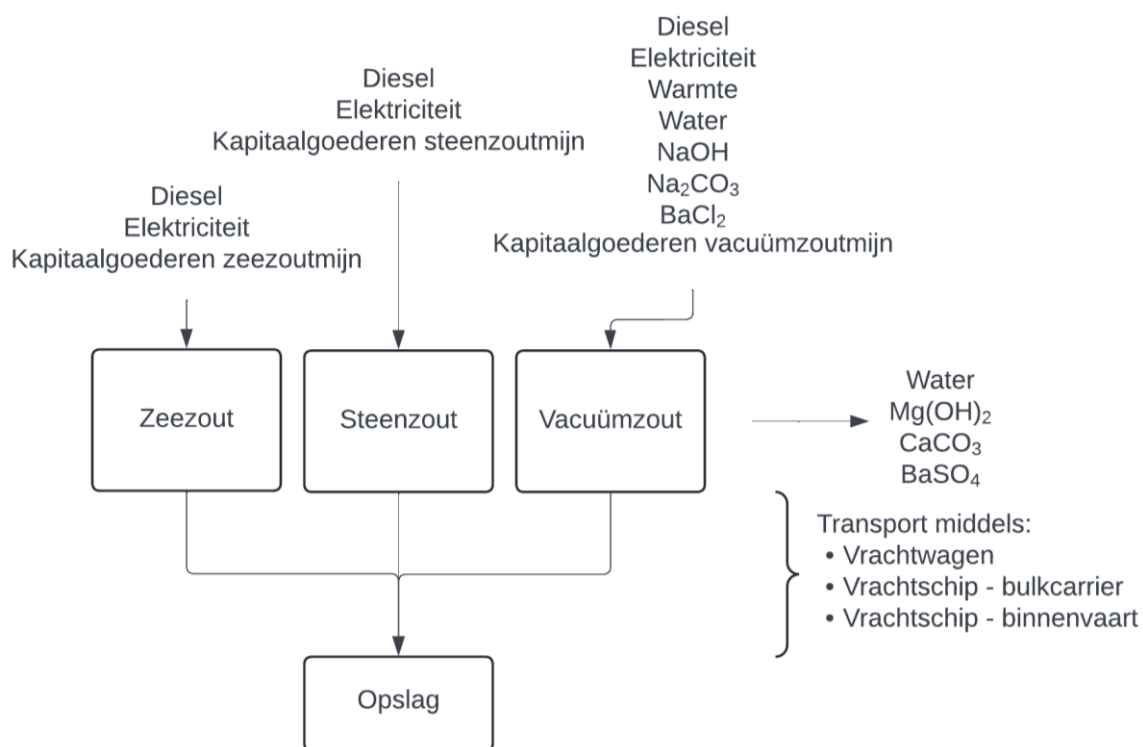
Levenscyclusfasen

A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Winning van grondstoffen	Transport	Productie	Transport	Bouw- en installatieproces /	Gebruik	Onderhoud	Reparaties	Vervangingen	Verbouwingen	Operationeel energiegebruik	Operationeel watergebruik	Sloop	Transport	Afvalverwerking	Finale afvalverwerking	Mogelijkheden voor hergebruik, terugwinning en recycling
☒	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Levensfasen meegenomen in deze LCA (☒: Module gedeclareerd / ☐: Module niet gedeclareerd).

2.3.1 Procesboom

In Figuur 2.1 is de procesboom met de relevante processen opgenomen. Hierbij wordt opgemerkt dat ten behoeve van het overzicht van het figuur geen specifieke gekwantificeerde stromen worden benoemd. Deze worden in latere paragrafen van dit achtergrondrapport toegelicht. In de volgende sectie worden de systeemgrenzen en processen nader toegelicht.



Figuur 2.1

Stroomdiagram productie wegzout, ingekocht en opgeslagen door Rijkswaterstaat

2.3.2 Omschrijving levensfasen

Winning van grondstoffen (A1)

In deze studie wordt er onderscheid gemaakt tussen drie zouttypen: zeezout, steenzout en vacuümzout. In de geanalyseerde periode (2016-2023) is het zeezout gewonnen in Tunesië, het steenzout in Duitsland, Egypte en Marokko, en het vacuümzout in Nederland en Duitsland.

Voor het winnen van zeezout en steenzout wordt gebruik gemaakt van diesel en elektriciteit. Voor de productie van vacuümzout wordt gebruik gemaakt van diesel, elektriciteit, warmte, water, NaOH, Na₂CO₃ en BaCl₂, en komt er vervuild water, Mg(OH)₂, CaCO₃ en BaSO₄ vrij als afval.

Transport (A2)

Het transport van de winningslocatie tot de opslaglocatie van Rijkswaterstaat verloopt, afhankelijk van de afkomst, via een combinatie van vrachtwagens, bulkcarrier vrachtschepen en binnenvaartvrachtschepen.

Productie (A3)

Het zout wordt door Rijkswaterstaat opgeslagen voor de verkoop. Het zout wordt door Rijkswaterstaat niet verder bewerkt, er vinden dus geen productieprocessen plaats. Aan de fase zijn daarom geen lasten toegekend.

2.4 Criteria voor het buiten beschouwing laten van input en output

In overeenstemming met de *EN15804* en de aanvulling vanuit de *Bepalingsmethode* zijn de volgende procedures gehanteerd.

- Alle input- en outputstromen van een proces waarvan informatie beschikbaar was zijn meegenomen in de berekening.
- Wanneer onvoldoende gegevens beschikbaar zijn is de criteria voor het buiten beschouwing laten een maximum van 1% voor (niet)hernieuwbare primaire energieconsumptie en 1% van de totale massa-input van het proces. Voorwaarde hierbij is dat het buiten beschouwing laten van deze stromen niet meer dan 5% bedraagt in één van de milieueffecten per module.
- Het totaal van buiten beschouwing gelaten input stromen is maximaal 5% van energiegebruik en massa.

In deze LCA zijn geen input stromen buiten beschouwing gelaten.

2.5 Uitgesloten processen en stromen

In overeenstemming met de *EN 15804* zijn de volgende processen niet meegenomen binnen de systeemgrenzen van de LCA en niet meegenomen in de berekeningen:

- Overheadprocessen zoals kantoorafdelingen, personeelstransport, enz.
- Productie, onderhoud en afdanking van kapitaalgoederen (gebouwen opslaglocatie), gebruikt tijdens de productiefase (A3).

Van deze processen is ook niet te verwachten dat ze significant bijdragen in het milieuprofiel van het wegzout.

3 Levenscyclusinventarisatie (LCI) en modellering

3.1 Dataverzameling

Voor het berekenen van de levenscyclusanalyse zijn overeenkomstig de eisen, gesteld in ISO14044 en EN15804, gegevens verzameld van de verschillende productieprocessen die binnen de systeemgrenzen van deze LCA-studie vallen. Hierbij is in de uitwerking aandacht besteed aan de precisie, compleetheid, representativiteit, consistentie en reproduceerbaarheid van de gegevens.

In deze paragraaf is onder andere beschreven welke methodes zijn gehanteerd bij de verzameling en selectie van gegevens. In sectie 3.4 is de datakwaliteit van de verzamelde gegevens beoordeeld.

Gegevens productielocaties

Omdat het wegeenzout enkel ingekocht en opgeslagen wordt door Rijkswaterstaat, zijn er geen productieprocessen waar Rijkswaterstaat invloed op heeft. De inkoopgegevens van het wegeenzout door Rijkswaterstaat zijn geïnventariseerd in de periode 2016-2023. Daarbij is het transport vanaf de winningslocatie tot de opslaglocatie gekwantificeerd per zouttype.

Gegevens toeleveranciers

Voor het modelleren van de processen, hoger in de keten en waar de fabrikant geen invloed op heeft, is gebruikgemaakt van de NMD-processendatabase versie 3.8 (2022; gebaseerd op Ecoinvent 3.6), of de Ecoinvent 3.6 processendatabase (2019).

Literatuuronderzoek

Voor het verzamelen van de productiedata van het zeezout, steenzout en vacuümzout, is een literatuuronderzoek uitgevoerd. Sectie 3.2 bevat een algemene introductie van het winnen van de drie zouttypen. In Sectie 3.3 is de productie van de zouttypen gekwantificeerd middels de gevonden literatuur.

3.2 Literatuuronderzoek

Zeezout - zonneverdamping

Zeezout wordt gewonnen middels zonneverdamping. Hierbij worden kunstmatige bassins (zoutpannen) aangelegd om zeewater of water uit andere natuurlijk voorkomende zoutwaterbronnen te verzamelen. Voor het winnen van het pekelwater, wordt elektriciteit verbruikt door de pompen, transportbanden en overige machines. Zon en wind verdampen het pekelwater, waardoor zout achterblijft in kristalvorm. Belangrijke voorwaarden zijn een heet, droog en winderig klimaat en de beschikbaarheid van voldoende (vlakke) ruimte voor de zoutverdamplingsvijvers en zoutpannen.

In Europa vindt dit type winning voornamelijk plaats in de mediterrane regio: in Spanje, Italië, Frankrijk en Griekenland. Deze methode is goed voor 9% van de zoutproductie in West-Europa. Het ingekochte zeezout door Rijkswaterstaat, in de jaren 2016 – 2023, is enkel gewonnen in Tunesië.

Steenzout– steenzoutwinning

Bij steenzoutwinning wordt zout gewonnen uit zout bevattende gesteentelagen met behulp van onder andere graafmachines en boormachines, soms in combinatie met explosieven. De zoutlagen zijn het resultaat van prehistorische oceanen die opdroogden en in de loop van de tijd bedekt werden door lagen sedimentgesteente. Daarom bevinden ze zich vaak diep onder de grond. Het mijnen van steenzout vereist geen chemische reacties.

In Europa vindt steenzoutwinning voornamelijk plaats in Duitsland en het Verenigd Koninkrijk. Dit type mijnbouw is goed voor 37% van de zoutproductie in West-Europa. Het ingekochte steenzout door Rijkswaterstaat, in de jaren 2016 – 2023, is geproduceerd in Egypte, Marokko en Duitsland.

Vacuümzout - oplossingsmijnbouw

Bij oplossingsmijnbouw worden gaten geboord in een ondergrondse zoutlaag en worden twee pijpen ingebracht. Water wordt geïnjecteerd in een van deze pijpen om het zout op te lossen, en de andere pompt het pekelwater omhoog voor verdere verwerking tot gezuiverd pekelwater of droog zout (vacuümzout). Het pekelwater wordt gedroogd tot zout middels stroom en vacuümcompressie.

Net als bij steenzoutwinning is de aanwezigheid van een (toegankelijke) ondergrondse zoutlaag een vereiste voor dit type zoutwinning. Toegankelijkheid hangt af van de diepte van de zoutlaag of de aanwezigheid van pilaarvormige structuren die relatief dicht bij het aardoppervlak komen, en ontstaan wanneer rotszout omhoog is geduwd. Het oplossen en wegpompen van zout uit deze pijlers creëert holtes of grotten.

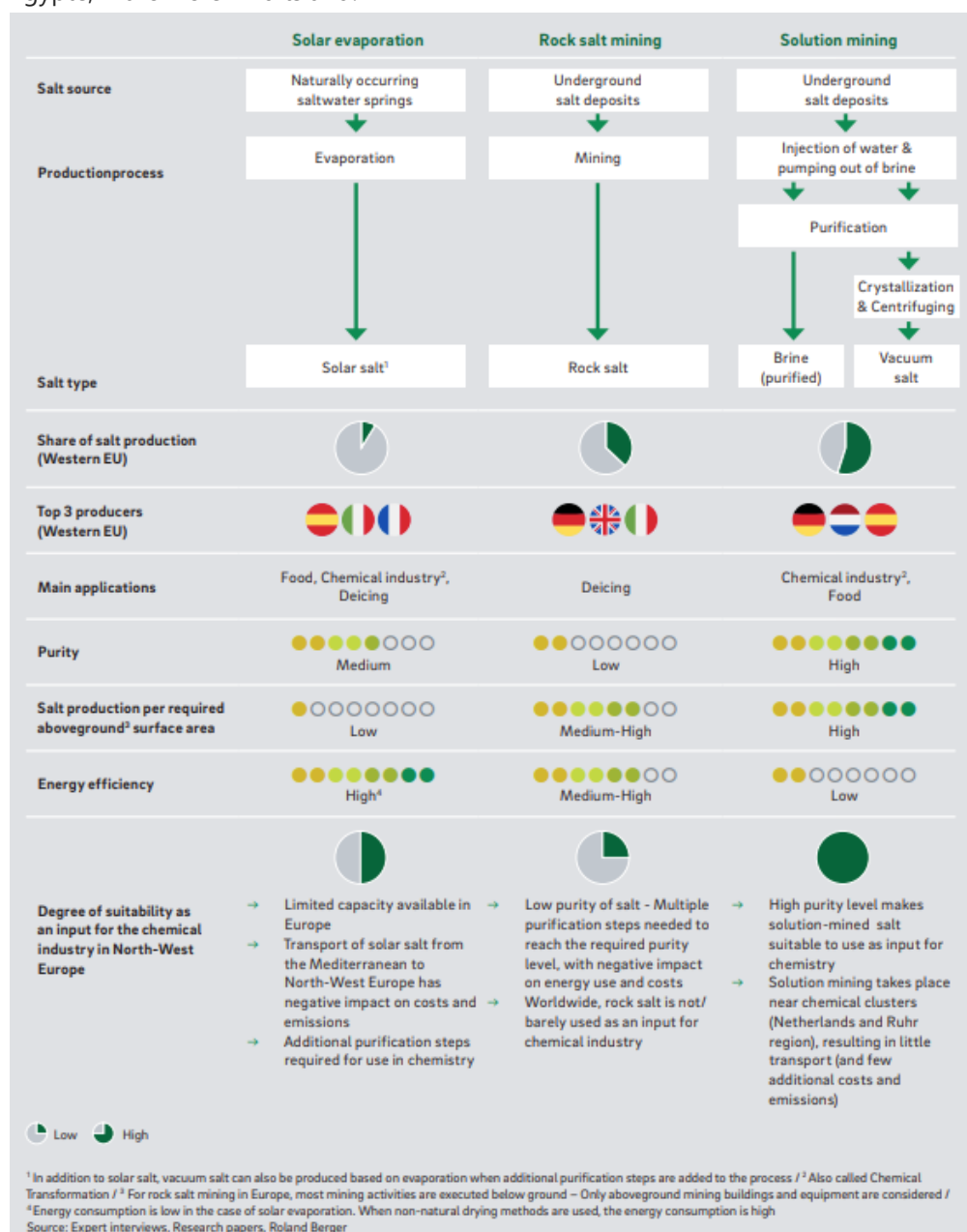
Vacuümzoutwinning in Europa vindt plaats in landen zoals Nederland, Duitsland, Spanje, Frankrijk en Oostenrijk. Ongeveer 54% van het totale volume zout in West-Europa wordt geproduceerd via oplossingsmijnbouw. Het ingekochte vacuümzout door Rijkswaterstaat, in de jaren 2016 – 2023, is gewonnen in Nederland en Duitsland.

Vergelijking winningsmethodes

In Figuur 3.1 is een overzicht weergegeven van de voor- en nadelen van de drie productiemethodes, opgesteld door vacuümzoutproducent Nobian (2022). In dit overzicht is te zien dat de productie van zeezout de grootste oppervlakte vereist per geproduceerde eenheid zout, maar laagste hoeveelheid energie vereist. De productie van vacuümzout heeft het kleinste oppervlak nodig, maar de meeste energie. De productie van steenzout zit wat betreft land- en energieverbruik tussen vacuümzout en zeezout in. Verder heeft vacuümzout de hoogste puurheid,

wat vereist is voor toepassingen in de chemische industrie, maar niet van belang is voor de toepassing als wegzout.

Een ander belangrijk verschil tussen de drie winningsmethodes is de gemiddelde transportafstand van de zouttypen tot de opslaglocatie van Rijkswaterstaat. Het vacuümzout is in de periode 2016-2023 enkel gewonnen in Nederland en Duitsland, het zeezout in Tunesië en het steenzout in Egypte, Marokko en Duitsland.



Figuur 3.1

Voor- en nadelen van de drie productieprocessen van zout: zeezout, steenzout en vacuümzout.

Bron: Salt Impact Study (2022), door Nobian. Via:

https://cms.nobian.com/uploads/Roland%20Berger%20Rapport/Nobian%20Salt%20Impact%20Study_Roland%20Berger_EN_vFinal2.pdf.

3.3 Kwalitatieve/kwantitatieve procesgegevens

Voor de beschouwde producteenheid zijn de input- en outputstromen per levensfase/module geïnventariseerd. In deze paragraaf is beschreven welke uitgangspunten hiertoe zijn gehanteerd.

In Sectie 3.3.1 wordt het winningsproces van zeezout, steenzout en vacuümzout gekwantificeerd en de modellering toegelicht. Voor deze sectie is gebruik gemaakt van literatuuronderzoek. In Sectie 3.3.2 wordt het transport van de drie zouttypen gekwantificeerd, op basis van de verkregen transportdata van Rijkswaterstaat.

3.3.1 Zoutwinning

3.3.1.1 Zeezout

In de Ecoinvent database is er voor zeezout het proces *Salt {GLO}| salt production from seawater, evaporation pond | Cut-off, U* beschikbaar. In Tabel 3.1 is de opbouw van dit proces weergegeven. Dit proces bevat enkel elektriciteitsverbruik van de waterpomp en de kapitaalgoederen van de bouwmaachines weer (zonder dieselverbruik). Het elektriciteitsverbruik is berekend op basis van een theoretische formule, zonder literatuurwaarden van werkelijk verbruik (Ecoinvent, z.d.).

In een studie van García-Herrero et al. (2017) wordt de milieulast van productie van onder andere zeezout, steenzout en vacuümzout vergeleken. De LCI data voor het winnen van deze zouten uit deze studie is afkomstig van een eerdere studie van Goetfried et al (2012). Deze achterliggende studie is niet gevonden door de LCA-uitvoerder, waardoor de inputs niet te controleren zijn. García-Herrero et al. geeft voor de productie van zeezout enkel een elektriciteitsverbruik van 68 MJ. Dit verbruik zou afkomstig zijn van het elektriciteitsverbruik van verschillende pompen, transportbanden en machines van de Damper Sea Salt plant in West Australië. Deze studie vermeldt voor geen enkel van de zouttypen een verbruik van diesel voor bouwmaachines.

Stettler en Kägi (2019) maken in een LCA omtrent zeezout, steenzout en vacuümzout gebruik van dezelfde LCI data van Goetfried et al (2012). De input waarden worden niet benoemd in de tekst, maar er wordt in de tekst omschreven dat zowel het elektriciteitsverbruik als het dieselverbruik voor bouwmaachines is geïnventariseerd. De LCA-uitvoerder heeft daarom aangenomen dat het opgegeven elektriciteitsverbruik uit García-Herrero et al. (2017), opgegeven in MJ, het totale energieverbruik in MJ is (elektriciteit + diesel). Deze aanname wordt ondersteund door het totale energieverbruik van 50 MJ per ton zeezout uit een EPD omtrent productie van zeezout in Spanje (Mesta, 2023).

De EPD omschrijft dat de productie enkel diesel verbruikt voor het winnen van het zeezout. Uit het kwaliteitsplan van de Vermeulen Groep, leverancier van zeezout aan RWS in 2018, is omschreven dat het grondwater opgepompt wordt, waar de overgebleven zoutkorst na verdamping middels een frees geschrapt en verzameld wordt. Het is daarom waarschijnlijk dat er een combinatie van elektriciteit en diesel verbruikt wordt.

Omdat er geen informatie gevonden is omtrent de verhouding diesel/elektriciteitsverbruik, is er door de LCA-uitvoerder een inschatting gemaakt van 20% dieselverbruik en 80% elektriciteitsverbruik. Deze aanname wordt conservatief geacht, omdat het proces van elektriciteitsverbruik een 57% hogere MKI heeft per MJ dan het dieselverbruik. In Tabel 3.2 is de opbouw van het nieuwe proces voor de productie van 1 ton zeezout in Tunesië weergegeven. Er is gekozen voor Tunesië omdat RWS in de periode 2016-2023 enkel zeezout geproduceerd in Tunesië heeft gekocht.

De kapitaalgoederen van de zeezoutmijn bestaan uit waterpompen, shovels en een korte transportband. De kapitaalgoederen van de waterpompen en shovels is opgenomen in de processen voor het elektriciteitsverbruik van de waterpomp en van het dieselverbruik in bouwmaschine. Met behulp van Figuur 3.2 is ingeschat dat de transportband niet langer zal zijn dan 50 meter.



Figuur 3.2
Afbeelding van transportband in Tunesische mijn. Uit productierapport van mijn, aangeleverd door RWS.

Tabel 3.1
Opbouw proces *Salt {GLO}* | *salt production from seawater, evaporation pond* | *Cut-off, Um*, per 1 ton.
Inclusief vergelijking met gevonden literatuurwaarden.

Proces	Eenheid	Waarde Ecoinvent	Waarde García-Herrero	Waarde EPD Mesta
<i>Inputs uit de natuur:</i> Water, salt, ocean	m ³	29	Niet opgegeven	Niet opgegeven
<i>Inputs uit de natuur:</i> Occupation, sea and ocean	m ² a	655	Niet opgegeven	Niet opgegeven
<i>Inputs uit de technosfeer:</i> Building machine {GLO} market for Cut-off, U	p	1,00E-05	Niet opgegeven	Niet opgegeven
<i>Inputs uit de technosfeer:</i> Water pump operation, electric {GLO} market for water pump operation, electric Cut-off, U	MJ	1,00	68	50
<i>Emissies naar de lucht:</i> Water/m3	m ³	27600	Niet opgegeven	Niet opgegeven

Tabel 3.2

Opbouw proces productie 1 ton zeezout in Tunesië

Proces	Eenheid	Waarde	Opmerking
<i>Inputs uit de natuur:</i> Water, salt, ocean	m ³	29	Overgenomen uit Ecoinvent proces
<i>Inputs uit de natuur:</i> Occupation, sea and ocean	m ² a	655	Overgenomen uit Ecoinvent proces
<i>Inputs uit de technosfeer:</i> Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, U	MJ	13,6	20% van 68 MJ per ton zeezout
<i>Inputs uit de technosfeer:</i> Water pump operation, electric {TN} water pump operation, electric Cut-off, U	MJ	54,4	80% van 68 MJ per ton zeezout. Proces aangepast naar geografie Tunesië.
<i>Emissies naar de lucht:</i> Water/m3	m ³	27600	Overgenomen uit Ecoinvent proces
<i>Inputs uit de technosfeer:</i> Transport, freight, conveyor belt {GLO} market for transport, freight, conveyor belt Cut-off, U	tkm	0,05	Aanname o.b.v. afbeelding, 50 m transportband

3.3.1.2 Steenzout

Er is geen representatief proces voor het winnen van steenzout beschikbaar in de Ecoinvent database. In de omschrijving van het proces *Sodium chloride, powder {RER}| production | Cut-off, U*, staat dat het proces representatief zou zijn voor zowel de productie van steenzout als vacuümzout (Ecoinvent, 2007). Echter is er uit de achtergrondinformatie geen onderscheid te halen tussen de productie van beide zouttypen, en zijn de overgenomen waarden afkomstig uit verouderde en niet te controleren productiewaarden van producenten van vacuümzout.

Daarom is er voor steenzout tevens gekeken naar de LCI data uit García-Herrero et al. (2017), met broninformatie weer afkomstig uit Goetfried et al (2012). De LCI data is afkomstig uit de Heilnronn salt mine uit Duitsland, een van de leveranciers van steenzout aan RWS. García-Herrero et al. geven voor de productie van steenzout weer enkel de inputwaarden weer in elektriciteitsverbruik in MJ. Het verbruik van het winnen van 1 ton steenzout zou 195 MJ zijn. Stettler en Kägi (2019), tevens gebruikmakende van Goetfried et al (2012), geven weer geen inputwaarden weer, maar omschrijven wel een combinatie van elektriciteitsverbruik en dieselverbruik.

In een EPD van de productie van steenzout van een Duitse producent (producent onbekend) wordt vermeld dat er voor de productie van het steenzout gebruik gemaakt wordt van hitte en elektriciteit opgewerkt door een WKK, en diesel voor bouwmachines (GC Rieber, 2022). Enkel het totaalverbruik wordt vermeld, 141 MJ per ton gewonnen steenzout.

Als conservatieve aanname, is het energieverbruik van 195 MJ per ton steenzout uit García-Herrero et al. (2017) overgenomen. Omdat er geen informatie gevonden is omtrent de verhouding diesel/elektriciteitsverbruik, en de meeste handeling zowel elektrisch als diesel gedreven kunnen zijn, is er door de LCA-uitvoerder een inschatting gemaakt van 50% dieselverbruik en 50% elektriciteitsverbruik. De elektriciteit wordt door werd in de gemeten periode door de onbekende

Duitse producent opgewekt met een WKK, maar het is niet bekend of dit ook het geval is voor andere productielocaties in Duitsland. Er is daarom gekozen voor elektriciteit van het landelijke net.

De gebruikte bronnen bevatten geen kwantificatie van de kapitaalgoederen van een steenzoutmijn. Daarom is er aangenomen dat de kapitaalgoederen van een steenzoutmijn vergelijkbaar zullen zijn met dat van kalksteen. Tevens is er aangenomen dat de fijnstofemissies gerelateerd aan de mijnwerkzaamheden vergelijkbaar zijn, al dan niet lager in het geval van het winnen van steenzout. Daarom is het proces *Limestone, unprocessed {RoW}| limestone quarry operation | Cut-off, U* overgenomen voor het modelleren van de emissies en kapitaalgoederen van de steenzoutmijn. Daarbij is de input uit de natuur van calciëet en het bijbehorende energieverbruik op nul gesteld.

Tabel 3.3

Opbouw proces productie 1 ton steenzout, geproduceerd in Duitsland, Egypte of Marokko

Proces	Eenheid	Waarde	Opmerking
<i>Inputs uit de natuur:</i> Sodium chloride, in ground	ton	1	
<i>Inputs uit de technosfeer:</i> Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, U	MJ	97,5	50% van 195 MJ per ton steenzout
<i>Inputs uit de technosfeer:</i> Duitsland Electricity, medium voltage {DE} market for Cut-off, U Marokko Electricity, medium voltage {MA} market for electricity, medium voltage Cut-off, U Egypte Electricity, medium voltage {EG} market for electricity, medium voltage Cut-off, U	MJ	97,5	50% van 195 MJ per ton steenzout
<i>Inputs uit de technosfeer:</i> Limestone, unprocessed {RoW} limestone quarry operation Cut-off, U	ton	1	Winnen calciëet en energieverbruik gesteld op nul.

3.3.1.3 Vacuümzout

Het productieproces van vacuümzout bestaat uit de volgende stappen:

1. Winnen pekelwater
2. Zuiveren pekelwater
3. Stoomgeneratie en verdampen water
4. Centrifugeren
5. Nabehandeling (Additioneel)

Winnen pekelwater middels oplossingsmijnbouw

Om het pekelwater te winnen, wordt een boorgat in een ondergrondse zoutlaag geboord, waarna zoet water onder hoge druk het boorgat in wordt gepompt. Het zout lost op, waardoor het zoete water verandert in pekel en er een holte ontstaat in de zoutlaag. Bij verzadiging wordt de pekel uit de grond gepompt en via een pijpleiding naar een zuiveringsinstallatie getransporteerd.

Het oplossingsmijnbouwproces wordt aangedreven door grote elektrische pompen die worden gebruikt om de hoge drukniveaus te genereren die nodig zijn om het zoete water naar beneden te pompen en de pekkel naar boven te pompen. De benodigde pompenergie is afhankelijk van de diepte van de oplossingsmijnbouwlaag en de lengte van het oplossingsmijnbouwpijpleidingssysteem. Uit een onderzoek van TNO (2021) naar de Nederlandse zoutindustrie blijkt dat ongeveer een kwart van de elektriciteit die gebruikt wordt bij de productie van vacuümzout gebruikt wordt voor dit proces, een verbruik van ongeveer 79 MJ per ton zout. Daarnaast is er een verbruik van 3,3 ton zoetwater en 22 kg diesel per ton vacuümzout vereist voor dit proces.

Zuiveren pekkelwater

De ruwe pekkel ondergaat vervolgens een zuiveringsproces waarbij de onzuiverheden worden verwijderd door middel van een reeks reacties. In Nederland komen de meest voorkomende onzuiverheden in oplossingsmijnbouwpekels voor in de vorm van sulfaten, calciumzouten en magnesiumzouten. Deze onzuiverheden worden neergeslagen met chemicaliën en verwijderd. Per ton geproduceerd vacuümzout wordt er gebruik gemaakt van 0,4 kg NaOH, 9 kg Na₂CO₃ en 9,5 kg BaCl₂. Op basis van berekeningen van TNO (2021) produceert het zuiveringsproces van de pekkel ongeveer 150.000 ton afvalchemicaliën per jaar in heel Nederland, omgerekend ongeveer 25 kg per ton vacuümzout. Deze afvalchemicaliën - die voornamelijk bestaan uit bariumsulfaat, calciumcarbonaat en magnesiumhydroxide - worden doorgaans opgeslagen in de lege zoutkoepels die het gevolg zijn van het oplossingsmijnbouwproces (TNO, 2021). Omdat het niet bekend is hoe vaak deze afvalverwerkingsmethode wordt toegepast en wat de bijbehorende milieueffecten zijn, is de afvalverwerking gemodelleerd als zuivering van afvalwater en verwerking vaste stoffen, zoals omschreven in Tabel 3.5.

Stoomgeneratie en verdampen water

Voor de productie van vacuümzout wordt stoom geproduceerd bij een temperatuur van ongeveer 150 °C tot 180 °C, en een druk van 3 tot 4 bar (Holtkamp, 2011). De zoutproductie-installaties van Nobian in Hengelo en Delfzijl produceren hun stoom in on-site warmtekrachtkoppelingsinstallatie (WKK). De WKK's die worden gebruikt in de zoutproductie-industrie zijn relatief efficiënt; de WKK-installaties van Nobian hebben een efficiëntie van meer dan 85% (TNO, 2021).

Het proces van waterverdamping is zeer energie-intensief; het verbruikt 95% van het totale warmteverbruik in het end-to-end zoutproductieproces. De gezuiverde pekkel, die ongeveer een kwart van zijn gewicht aan zout en driekwart zoetwater bevat, wordt verdampt totdat het een grote zoute brijn wordt die ongeveer 10% water bevat (TNO, 2021).

De voornaamste technologie die wordt gebruikt voor het verdampingsproces is meervoudige-effectverdamping (MEV)⁴, met 3-5 verbonden vacuümpannen per productielijn (TNO, 2021). Tevens kan mechanische damprecompressie (MDR) toegevoegd worden. MDR-technologie is een energierugwinningsproces waarbij laagdrukwaterdamp die is verdampt uit de pekkel wordt samengeperst tot hogere temperatuur en druk, en vervolgens gebruikt wordt als warmtebron om meer pekkel te verdampen.

Volgens de studie van TNO (2021) verbruikt het verdampingsproces 260 MJ elektriciteit en 1500 MJ warmte per ton vacuümsout. Daarbij komt 3,1 ton water vrij.

Centrifugeren

De brijn die vrij is gekomen na verdamping, die ongeveer 90% zout bevat, wordt gecentrifugeerd in grote trommels om resterend water te verwijderen en zoutkristallisatie te voorkomen (Sedivy, 2006). Het resulterende zout bevat ongeveer 2,5% vocht. Volgens de studie van TNO (2021) kost dit proces ongeveer 3 kJ elektriciteit per ton vacuümsout.

Nabehandeling (additioneel)

In de Nederlandse zoutindustrie wordt ongeveer 60% van al het gecentrifugeerde zout gebruikt voor industriële doeleinden, 30% wordt verder verwerkt voor o.a. de agricultuur, en de overige 10% wordt afgekeurd vanwege onzuiverheden in het zout. De afgekeurde zouten worden meestal opgeslagen en toegepast als wegzout. Omdat nabehandeling niet van toepassing is voor het wegzout, wordt deze stap niet meegenomen in deze studie.

Kapitaalgoederen

De kapitaalgoederen van de vacuümsoutmijn bestaan uit een chemische fabriek, het boorgat en de waterpompen. De kapitaalgoederen van de waterpompen zijn opgenomen in het proces van het elektriciteitsverbruik van de pompen met het Ecoinvent proces *Water pump operation, electric {RoW}* | *water pump operation, electric | Cut-off, U*. Zoals in eerder omschreven, wordt een kwart van het totale elektriciteitsverbruik gebruikt voor de pompen.

⁴ De MEV-technologie maakt gebruik van het feit dat het kookpunt van een oplossing daalt naarmate de omringende druk wordt verlaagd middels grote vacuümpannen. Door meerdere vacuümpannen in serie aan te sluiten en verschil in druk te genereren, kan de verdampte waterdamp van de ene vacuümpaan worden gebruikt om de volgende te verwarmen. De efficiëntiewinst van deze technologie is aanzienlijk; MEV-installaties zijn minstens twee keer zo efficiënt als enkelvoudige-effectverdamper (TNO, 2021). Een algemene vuistregel die wordt waargenomen is dat voor elk extra effect toegevoegd in een meervoudige-effectverdampingssysteem, een efficiëntiewinst van 10% wordt behaald (TNO, 2021). Een compromis is dat de investeringskosten hoger zijn voor elk extra effect. In Europa is het maximale aantal effecten dat wordt ingezet in de zoutproductie-industrie acht (Westphal et al., 2012).

Voor de chemische fabriek is het Ecoinvent proces *Chemical factory, organics {RER}| construction | Cut-off, U* gebruikt. Het proces omschrijft een chemische fabriek van 4,2 hectare. Om de juiste hoeveelheid van dit proces per ton vacuümzout te bepalen, is de productielocatie van Azko Nobel in Hengelo gebruikt. Deze locatie heeft een oppervlak van 0,8 hectare (BRControls, z.d.) en een jaarlijkse productie van 3000 kt zout (TNO, 2021). De opgegeven levensduur van 50 jaar in het achterliggende Ecoinvent rapport is overgenomen (Ecoinvent, 2007). Per ton vacuümzout wordt daarom gerekend met $0,8/4,2/50/3000/1000 = 1,27E-9$ stuks van het Ecoinvent proces.

Voor het boorgat is een diepte van 1100 meter aangenomen, omdat 1100 m diep de huidige limiet is voor dit type mijnbouw (Solution Mining, z.d.). Verder is er aangenomen dat het boorgat een vergelijkbare levensduur heeft als de fabriek van 50 jaar, en een vergelijkbare productie van 3000 kt per jaar. Per ton vacuümzout wordt er daarom gerekend met $1100/50/3000/1000 = 7,33E-6$ meter van het Ecoinvent proces *Deep well, drilled, for geothermal power {RoW}| deep well drilling, for deep geothermal power | Cut-off, U*.

Overzicht massa- en energiestromen voor de productie van vacuümzout

In Tabel 3.4 is een gekwantificeerd overzicht weergegeven van de productieprocessen van 1 ton vacuümzout in Nederland volgens de studie van TNO (2021) op basis van data uit 2018. Deze inputwaarden zijn vergeleken met de inputwaarden uit een studie die de productie van o.a. steenzout, zeezout en vacuümzout vergelijkt (García-Herrero et al., 2017). De inputdata is afkomstig uit een bron (Goetfried et al., 2012) die niet terug te vinden is voor inzage. De studie omschrijft echter dat de data omtrent vacuümzout beperkt is, en het energieverbruik slechts een benadering is. De waarden uit deze studie zijn van dezelfde orde van grote als de inputwaarden uit de studie van TNO, al dan niet wat ongunstiger met betrekking tot het energieverbruik en gunstige ten opzichte van het waterverbruik en de afvalproductie.

De resultaten van TNO worden als meest aannemelijk geacht voor zowel de productie van vacuümzout binnen Nederland als binnen Duitsland. In Sectie 4.4.3 is de gevoeligheid van de resultaten onderzocht onder variatie van de inputwaarden en proceskeuzes.

In Tabel 3.5 is zijn de proceskeuzes voor de productie van het vacuümzout weergegeven. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen het elektriciteit- en warmteverbruik bij de Nederlandse en Duitse winningslocaties.

Tabel 3.4

Kwantificatie productieprocessen 1 ton vacuümzout. Bron: TNO (2021).

	Proces	Winnen pekelwater	Zuiveren pekelwater	Stoomgeneratie en verdamping	Centrifugeren	Totaal
Inputs	Elektriciteit (MJ)	79		260	0,003	339
	Warmte (MJ)			1500		1500
	Diesel (g)	22 ⁵				22
	Zoetwater (ton)	3,3				3,3
	NaOH (kg)		0,4			0,4
	Na ₂ CO ₃ (kg)		9			9
	BaCl ₂ (kg)		9,5			9,5
	Kapitaalgoederen (stuks)					1
Outputs	Water (ton)			3,1		3,1
	Mg(OH) ₂ (kg)		0,29			0,29
	CaCO ₃ (kg)		4,6			4,6
	BaSO ₄ (kg)		20			20

Tabel 3.5

Proceskeuze voor productie van vacuümzout

Proces	Proceskeuze	Database
Elektriciteit – NL, waterpomp (25%)	NL_Water pump operation, electric {RoW} water pump operation, electric Cut-off, U Proces elektriciteitsverbruik aangepast naar onderstaand proces.	Ecoinvent 3.6
Elektriciteit – NL, overig (75%)	Electricity, high voltage {NL} heat and power co-generation, natural gas, conventional power plant, 100MW electrical Cut-off, U	Ecoinvent 3.6
Elektriciteit – DE, waterpomp (25%)	DE_Water pump operation, electric {RoW} water pump operation, electric Cut-off, U Proces elektriciteitsverbruik aangepast naar onderstaand proces.	Ecoinvent 3.6
Elektriciteit – DE, overig (75%)	Electricity, high voltage {DE} heat and power co-generation, natural gas, conventional power plant, 100MW electrical Cut-off, U	Ecoinvent 3.6
Warmte – NL	Heat, district or industrial, natural gas {NL} heat and power co-generation, natural gas, combined cycle power plant, 400MW electrical Cut-off, U	Ecoinvent 3.6
Warmte - DE	Heat, district or industrial, natural gas {DE} heat and power co-generation, natural gas, combined cycle power plant, 400MW electrical Cut-off, U	Ecoinvent 3.6
Diesel	Diesel, burned in building machine {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent 3.6
Zoetwater –	Water, unspecified natural origin, RER	Ecoinvent 3.6
NaOH	Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent 3.6
Na ₂ CO ₃	Soda ash, light, crystalline, heptahydrate {GLO} market for Cut-off, U	Ecoinvent 3.6
BaCl ₂	Barite {GLO} market for Cut-off, U ⁶	Ecoinvent 3.6
Afval - Water	Wastewater, average {Europe without Switzerland} market for wastewater, average Cut-off, U	Ecoinvent 3.6
Afval – vaste stoffen (Mg(OH) ₂ + CaCO ₃ + BaSO ₄)	Decarbonising waste {CH} market for decarbonising waste Cut-off, U ⁷	Ecoinvent 3.6
Kapitaalgoederen vacuümzout	Chemical factory, organics {RER} construction Cut-off, U	Ecoinvent 3.6
	Deep well, drilled, for geothermal power {RoW} deep well drilling, for deep geothermal power Cut-off, U	Ecoinvent 3.6

⁵ De studie van TNO (2021) omschrijft een dieserverbruik van 22 kg per ton vacuümzout. De LCA-uitvoerder heeft dit gecorrigeerd naar 22 g diesel, omdat 22 kg zeer onwaarschijnlijk is geacht. Met 22 kg diesel kan een EURO3 vrachtwagen 1294 tkm rijden, en zou het dieserverbruik een aandeel van 62% hebben van de totale MKI. Het dieserverbruik van 22 g is ook in dezelfde orde van grootte als dat uit Stettler et al. (2019), met 80 g per ton zout. Voor een correcte massa balans van water in het stroomschema van TNO, moet het water tevens in kt opgegeven zijn, i.p.v. de opgegeven t. Het is daarom aannemelijk dat dezelfde fout ook gemaakt is bij de eenheid van het dieserverbruik.

⁶ Betreft een proxy voor bariumchloride. Geen proces beschikbaar voor bariumchloride, daarom gekozen voor bariet, waar bariumchloride van gemaakt wordt.

⁷ Betreft een proxy voor afvalverwerking van vaste stoffen, overgenomen uit het Ecoinvent proces *Sodium chloride, powder {RER}| production | Cut-off, U*.

3.3.2 Transport van zoutmijn naar opslaglocaties RWS

Het transport van alle zouttypen vanaf de productielocaties tot de opslaglocaties van RWS is in kaart gebracht in de periode van 2016 tot en met 2023. De gebruikten transporttypen en gekozen processen zijn weergegeven in Tabel 3.6. In de volgende secties wordt het specifieke transport beschreven voor zeezout, steenzout en vacuümzout. De volledige inventarisatie is weergegeven in Bijlage I – Inventarisatie transport.

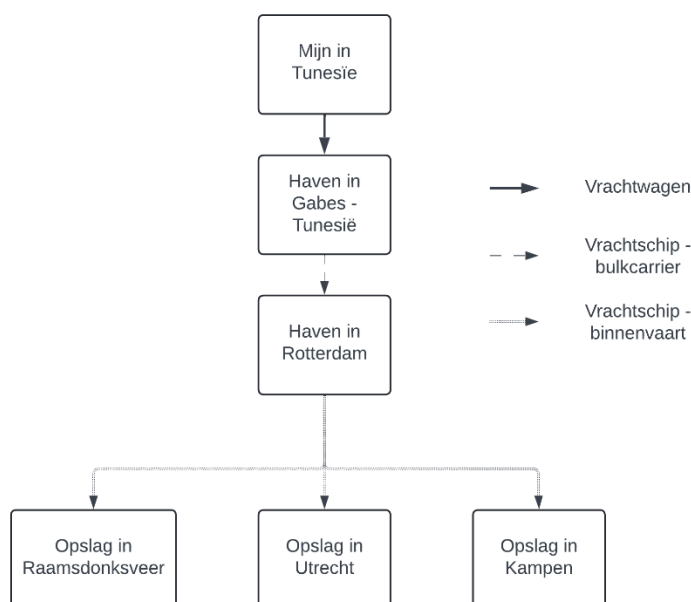
Tabel 3.6

Overzicht transportmodi en processen

Transportmodus	Proces	Database
Vrachtwagen	0001-tra&Transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U)	NMD 3.8
Vrachtschip – bulkcarrier	0404-tra&Transport, vrachtschip, bulk-droog, zee (o.b.v. Transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods {GLO} market for transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods Cut-off, U)	NMD 3.8
Vrachtschip – binnenvaart	0103-tra&Transport, vrachtschip, binnenvaart (o.b.v. Transport, freight, inland waterways, barge {GLO} market group for transport, freight, inland waterways, barge Cut-off, U)	NMD 3.8

3.3.2.1 Zeezout

Het transport van het zeezout vanaf de productielocatie tot de opslaglocaties van RWS is in kaart gebracht in de periode van 2016 tot en met 2023. In deze periode heeft RWS enkel zeezout ingekocht in 2018, afkomstig van één enkele productielocatie in Tunesië. In Figuur 3.3 is het transport schematisch weergegeven. In Tabel 3.7 zijn de gemiddelde transportafstanden en modi voor zeezout weergegeven.



Figuur 3.3

Transport van zeezout vanaf productielocatie tot opslaglocaties van RWS

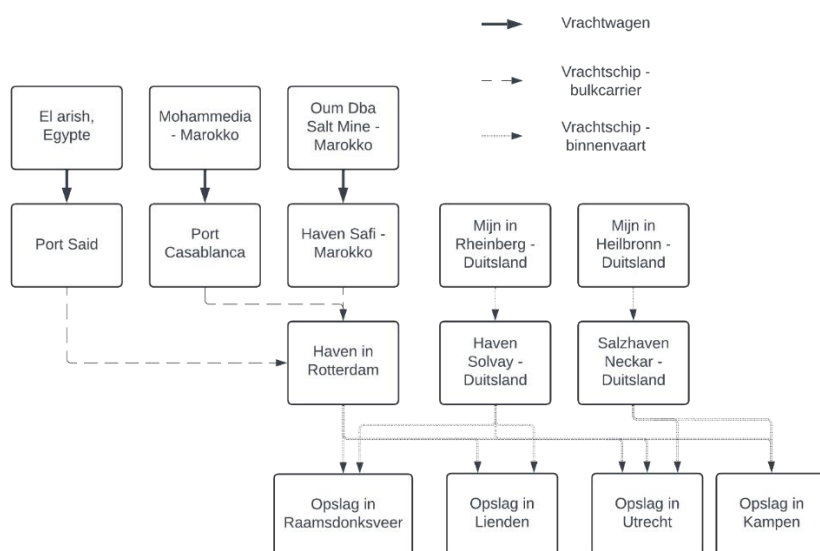
Tabel 3.7

Gemiddelde transportafstanden en modi voor zeezout

Afkomstig uit	Per vrachtwagen (km)	Per vrachtschip – bulkcarrier (km)	Per vrachtschip – binnenvaart (km)	Totaal ingekocht (t)	Aandeel (%)
Tunesië	200	4546	93	101.215	100%

3.3.2.2 Steenzout

Het transport van steenzout vanaf de verschillende productielocaties tot de opslaglocaties van RWS is in kaart gebracht in de periode van 2016 tot en met 2023. In deze periode heeft RWS in alle jaren steenzout ingekocht, afkomstig van vijf verschillende productielocaties. In Figuur 3.4 is het transport schematisch weergegeven. In Tabel 3.8 zijn de gemiddelde transportafstanden en modi voor steenzout weergegeven.

**Figuur 3.4**

Transport van steenzout vanaf productielocaties tot opslaglocaties van RWS

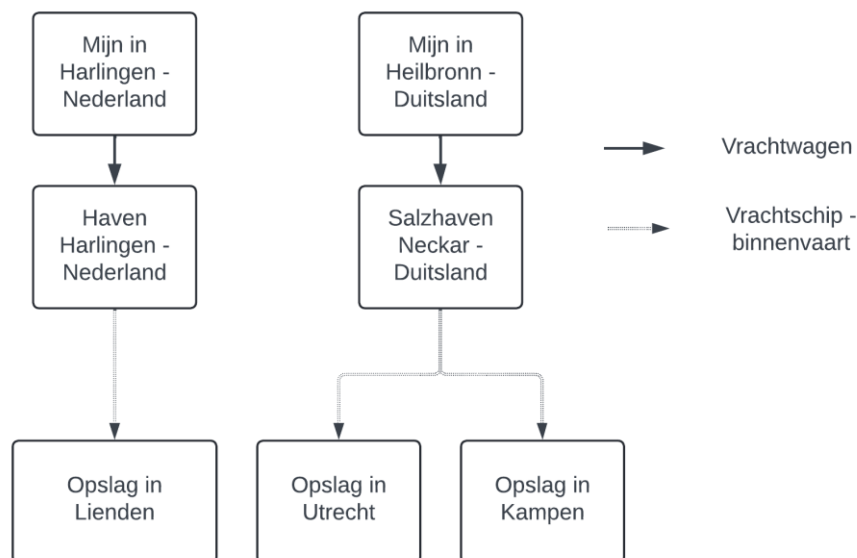
Tabel 3.8

Gemiddelde transportafstanden en modi voor steenzout

Afkomstig uit	Per vrachtwagen (km)	Per vrachtschip – bulkcarrier (km)	Per vrachtschip – binnenvaart (km)	Totaal ingekocht (t)	Aandeel (%)
Marokko (Oum Dbâ Salt Mine)	50	2900	371	17.350	4%
Marokko (Mohammedia)	40	2543	119	151.059	32%
Duitsland - Sudwestseutsche Salzwärke Heilbronn	1	0	652	65.000	14%
Duitsland - Rheinberg Borth	7	0	145	90.000	19%
Egypte	176	6019	120	149.200	32%
Gewogen gemiddelde	72	2819	207		

3.3.2.3 Vacuümzout

Het transport van vacuümzout vanaf de verschillende productielocaties tot de opslaglocaties van RWS is in kaart gebracht in de periode van 2016 tot en met 2023. In deze periode heeft RWS in 2016, 2019 en 2020 vacuümzout ingekocht, afkomstig van twee verschillende productielocaties. In Figuur 3.5 is het transport schematisch weergegeven. In Tabel 3.9 zijn de gemiddelde transportafstanden en modi voor vacuümzout weergegeven.



Figuur 3.5

Transport van vacuümzout vanaf productielocaties tot opslaglocaties van RWS

Tabel 3.9

Gemiddelde transportafstanden en modi voor vacuümzout

Afkomstig uit	Per vrachtwagen (km)	Per vrachtschip – binnenvaart (km)	Totaal ingekocht (t)	Aandeel (%)
Duitsland - Sudwestseutsche Salzwerte Heilbron	1	652	64.790	87%
Nederland	1	181	10.000	13%
Gewogen gemiddelde	1	589		

3.4 Datavalidatie

Specifieke gegevens

De gegevens die door de fabrikant zijn aangeleverd en de gegevens die middels literatuuronderzoek verzameld zijn, en waarmee we de stromen in de verschillende levensfasen hebben gekwantificeerd hebben we op basis van het datakwaliteitssysteem uit bijlage D van het NMD-toetsingsprotocol (versie 1.0, juli 2020) intern beoordeeld (zie Tabel 3.10 Beoordeling datakwaliteit). De beoordeling omvat alle functionele eenheden die in deze LCA zijn beschouwd.

Tabel 3.10

Beoordeling datakwaliteit

Compleetheid	
1. Compleetheid Milieu-ingrepen	<i>Alle milieu-ingrepen die redelijkerwijs verwacht kunnen worden, hebben een waarde.</i>
2. Compleetheid economische-stromen	<i>Alle stromen die redelijkerwijs verwacht kunnen worden, zijn geïnventariseerd en gekwantificeerd.</i> <i>Zo zijn alle grondstoffen, materialen, energie, emissies en afval die als input of output stroom in de levensfasen voorkomen benoemd.</i>
3. Massabalans op procesniveau	<i>Combinatie van literatuur en geïnventariseerde data</i> Het transport volgt direct uit de door de fabrikant aangeleverde data. De hoeveelheid materialen voor winning zijn zo volledig mogelijk geïnventariseerd op basis van literatuuronderzoek.
4. Massabalans op bedrijfsniveau	<i>Combinatie van literatuur en geïnventariseerde data</i> Het transport volgt direct uit de door de fabrikant aangeleverde data. De hoeveelheid materialen voor winning zijn zo volledig mogelijk geïnventariseerd op basis van literatuuronderzoek.
5. Energie balans op bedrijfsniveau	<i>Combinatie van literatuur en geïnventariseerde data</i> Het transport volgt direct uit de door de fabrikant aangeleverde data. De hoeveelheid energie voor winning zijn zo volledig mogelijk geïnventariseerd op basis van literatuuronderzoek.
Representativiteit	
1. Tijdsgebonden representativiteit	<i>De productie gegevens zijn verzameld van de jaren 2016-2023.</i>
2. Geografische representativiteit	<i>De locatie van het proces staat in directe relatie met het gewenste gebied.</i>
3. Technologische representativiteit	<i>Gegevens van de fabriek en proces van studie.</i> De productiegegevens zijn representatief voor hetzelfde productieproces en type product.
Consistentie	
1. Uniformiteit en consistentie	<i>Er is een combinatie van gemeten en geschatte waardes met verklaarbare onderlinge afwijkingen, verzameld volgens eenzelfde procedure.</i>
Reproduceerbaarheid	
1. Reproduceerbaarheid door derden	<i>Procesbeschrijving volledig kwantitatief reproduceerbaar met de gebruikte milieu-ingrepen.</i>

Op basis van de bovenstaande beoordeling wordt gesteld dat de gegevens "goed" bruikbaar zijn in de context van deze LCA.

Generieke gegevens

Conform de Bepalingsmethode zijn de NMD-processendatabase, versie 3.8 (gebaseerd op Ecoinvent 3.6) en de Ecoinvent 3.6 processendatabase, gebruikt voor het modeleren van de processen hoger in de keten en waar de fabrikant geen invloed op heeft. De gegevens uit beide databases zijn niet ouder dan tien jaar of zijn binnen deze periode geactualiseerd. Bij de keuze is ook rekening gehouden met de technologische- en geografische representativiteit van het gekozen achtergrondproces.

4 Life cycle assessment (LCA)

4.1 Berekening milieuprofiel

In deze LCA zijn de volgende rekenprocedures toegepast:

- Berekeningen worden uitgevoerd conform de NEN-EN 15804:A2 en de Bepalingsmethode 'Milieuprestatie Bouwwerken'.
- De rekenresultaten vindt u in Bijlage II – Rekenresultaten, zwaartepuntanalyse en gevoeligheidsanalyse.
- De berekeningen zijn gemaakt in SimaPro 9.5.0.0 met processen uit de NMD 3.8 database en de Ecoinvent 3.6 database.
 - Processen worden berekend inclusief infrastructuurprocessen en kapitaalgoederen.
 - Processen worden berekend exclusief lange termijn (> 100 jaar) emissies.

Compleetheid milieu ingrepen

De in de LCA beschouwde ingrepen '*totale stoffenlijst*' en de '*niet-gekaracteriseerde ingrepen*' zijn opgenomen in Bijlage II – Rekenresultaten, zwaartepuntanalyse en gevoeligheidsanalyse. Voor de ingrepen uit de gebruikte NMD-rekenmethode, zoals aangewezen in de Bepalingsmethode en conform NEN-EN 15804, die niet staan in Bijlage II – Rekenresultaten, zwaartepuntanalyse en gevoeligheidsanalyse behorend bij dit rapport, is onbekend of de ingreep plaatsvindt. We verwachten niet dat ingrepen zijn weggelaten die redelijkerwijs kunnen voorkomen in een hoeveelheid die de uitkomsten van de LCA beïnvloeden.

4.2 LCA-rekenresultaten samenvatting en schaduw prijzen

Het wegen van resultaten is een proces waarbij de resultaten van verschillende milieueffect-categorieën worden omgezet naar een 1 punt' score, zodat ze integraal beschouwd kunnen worden. In deze studie maken we, conform de Bepalingsmethode Milieuprestatie Bouwwerken, gebruik van de MilieuKostenIndicator (MKI, met de eenheid Euro) om de verschillende effectcategorieën te wegen tot één eindpunt.

In Tabel 4.1 zijn de rekenresultaten van de producteenheden in de gedeclareerde levenscyclusfasen weergegeven. Ook is de MKI opgenomen in het tabel.

Tabel 4.1

Milieuprofiel van gemiddelde productie van 1 ton zeezout, steenzout en vacuümzout, ingekocht en opgeslagen door Rijkswaterstaat

	Eenheid	1 ton zeezout	1 ton steenzout	1 ton vacuümzout
Indicatoren Set 1				
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	kg Sb eq.	1,08E-03	5,61E-04	1,41E-03
002. abiotic depletion, fuel (AD)	kg Sb eq.	5,11E-01	4,43E-01	1,09E+00
004. global warming (GWP)	kg CO ₂ eq.	7,25E+01	6,54E+01	1,29E+02
005. ozone layer depletion (ODP)	kg CFK-11 eq.	1,08E-05	8,53E-06	1,97E-05
006. photochemical oxidation (POCP)	kg ethyleen eq.	6,08E-02	5,09E-02	4,28E-02
007. acidification (AP)	kg SO ₂ eq.	8,75E-01	7,12E-01	3,79E-01
008. eutrophication (EP)	kg PO ₄ - eq.	1,05E-01	9,73E-02	1,07E-01
009. human toxicity (HT)	kg 1,4-DCB eq.	3,56E+01	2,31E+01	2,65E+01
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	kg 1,4-DCB eq.	6,87E-01	4,63E-01	5,62E-01
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	kg 1,4-DCB eq.	2,77E+03	1,90E+03	1,45E+03
014. Ecotoxicity, terrestic (TETP)	kg 1,4-DCB eq.	1,59E-01	9,50E-02	1,15E-01
Indicatoren Set 2				
051. Climate change	kg CO ₂ eq.	7,31E+01	6,64E+01	1,32E+02
052. Climate change - Fossil	kg CO ₂ eq.	7,31E+01	6,59E+01	1,31E+02
053. Climate change - Biogenic	kg CO ₂ eq.	7,27E-03	4,72E-01	7,88E-01
054. Climate change - Land use and LU change	kg CO ₂ eq.	4,46E-02	4,94E-02	6,17E-02
055. Ozone depletion	kg CFC11 eq.	1,35E-05	1,05E-05	2,28E-05
056. Acidification	mol H ⁺ eq.	1,10E+00	9,12E-01	5,11E-01
057. Eutrophication, freshwater	kg P eq.	5,77E-04	1,56E-03	3,93E-03
058. Eutrophication, marine	kg N eq.	2,79E-01	2,48E-01	2,33E-01
059. Eutrophication, terrestrial	mol N eq.	3,10E+00	2,82E+00	1,96E+00
060. Photochemical ozone formation	kg NMVOC eq.	8,32E-01	7,34E-01	5,13E-01
061. Resource use, minerals and metals	kg Sb eq.	1,08E-03	5,61E-04	1,41E-03
062. Resource use, fossils	MJ	1,04E+03	8,83E+02	2,04E+03
063. Water use	m ³ depriv.	3,17E+00	3,63E+00	4,50E+01
064. Particulate matter	disease inc.	3,87E-06	4,71E-06	1,90E-06
065. Ionising radiation	kBq U-235 eq.	3,68E+00	3,10E+00	2,01E+00
066. Ecotoxicity, freshwater	CTUe	8,02E+02	2,81E+03	2,43E+03
067. Human toxicity, cancer	CTUh	4,11E-08	2,68E-08	5,03E-08
068. Human toxicity, non-cancer	CTUh	8,09E-07	5,20E-07	1,31E-06
069. Land use	Pt	4,63E+02	3,15E+02	4,25E+02
Informatie over grondstofgebruik				
111. Energy, primary, renewable, excluding usage as material	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
113. Energy, primary, renewable, used as material	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
101. Energy, primary, renewable (MJ)	MJ	1,33E+01	2,63E+01	2,29E+01
112. Energy, primary, non-renewable, excluding usage as material	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
114. Energy, primary, non-renewable, used as material	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
102. Energy, primary, non-renewable (MJ)	MJ	1,11E+03	9,42E+02	2,24E+03
108. Secondary material (kg)	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
109. Secondary fuel, renewable (kg)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
110. Secondary fuel, non-renewable (kg)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
104. Water, fresh water use (m3)	m ³	1,07E-01	1,47E-01	1,19E+00
Informatie over afval				
106. Waste, hazardous (kg)	kg	1,82E-03	1,42E-03	3,78E-03
105. Waste, non hazardous (kg)	kg	2,77E+01	1,14E+01	3,18E+01
107. Waste, radioactive (kg)	kg	5,81E-03	4,82E-03	2,86E-03
Informatie over outputstromen				
120. Components for re-use (kg)	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
121. Materials for recycling (kg)	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
122. Materials for energy recovery (kg)	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
123. Exported energy, electric (MJ)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
124. Exported energy, thermal (MJ)	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Weging (1-punt score)				
MilieuKostenIndicator (MKI)	€	€ 11,78	€ 9,45	€ 11,76

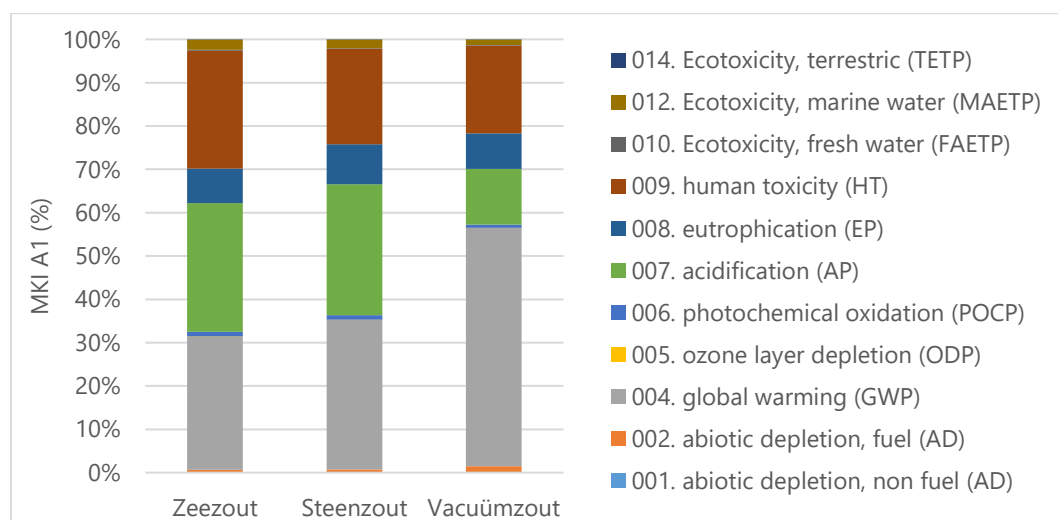
4.3 Zwaartepuntanalyse

Een zwaartepuntanalyse is uitgevoerd om een beeld te krijgen van de relevante milieueffecten, levensfase en processen. De resultaten zijn geanalyseerd en vergeleken aan de hand van de MKI berekend met de weegsets van de indicatoren van de EN15804-A1 en EN15804-A2 indicatoren.

4.3.1 Relevante milieueffecten

A1 weegset

In Figuur 4.1 is de MKI (A1 weegset) van de gemiddelde productie van zeezout, steenzout en vacuümzout, opgeslagen door Rijkswaterstaat, opgesplitst per proces per milieueffectcategorie. In dit figuur is te zien dat de hoogste bijdrage aan de MKI afkomstig is van *global warming potential* (31-55%), gevolgd door *acidification* (13-30%), *human toxicity* (20-27%) en *eutrophication* (8-9%). De overige effectcategorieën leveren een bijdrage van ten hoogste 2%. De grote verschillen in aandeel per effectcategorie zijn voornamelijk afkomstig door het verschil in aandeel van de MKI van het transport en het winnen van de zouten. Bij steenzout en zeezout is een groot deel van de MKI afkomstig van het transport, bij vacuümzout is dat aandeel aanzienlijk kleiner. Deze verschillen worden in de volgende secties nader toegelicht.



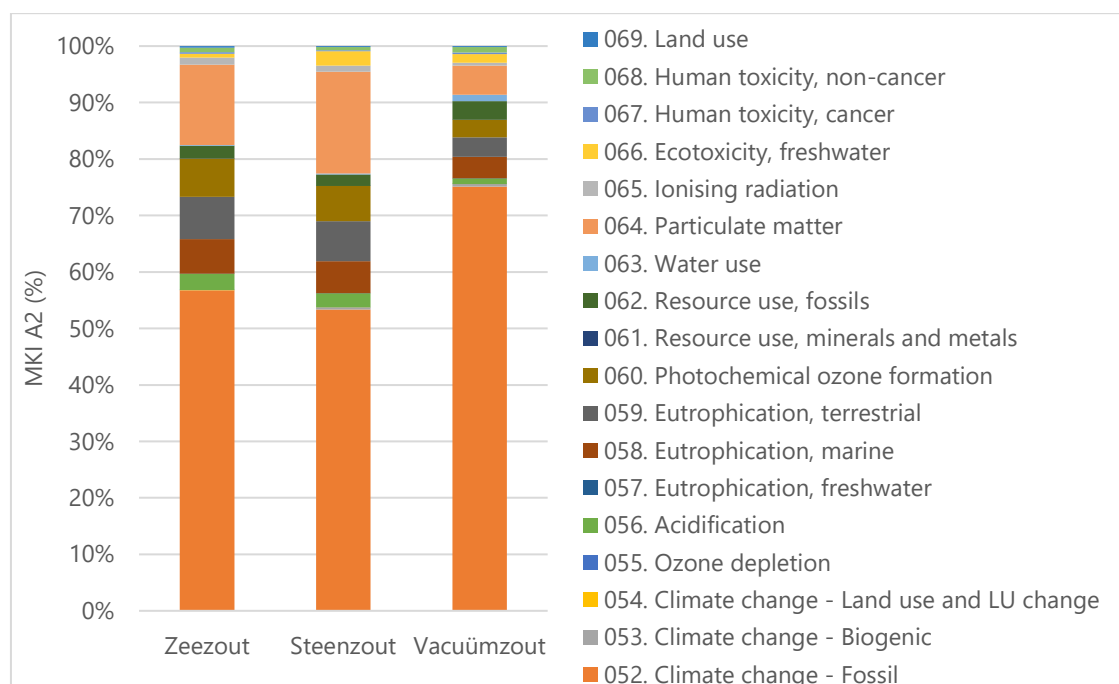
Figuur 4.1

Relevante milieueffecten (A1 weegset) van de gemiddelde productie van zeezout, steenzout en vacuümzout, opgeslagen door Rijkswaterstaat (A1-A3)

A2 weegset

In Figuur 4.2 is de MKI van de A2 weegset opgesplitst voor de verschillende zouten. In dit figuur is te zien dat de hoogste bijdrage aan de MKI afkomstig is van *Climate change* (53-75%), gevolgd door *Particulate matter* (5-15%), en *marine and terrestrial Eutrophication* en *Photochemical ozone formation* (3-6%).

De zwaardere weging van *climate change/global warming potential* in de A2 weegset dan in de A1 weegset draagt bij aan een hoger relatief en absoluut aandeel van de MKI bij de A2 weegset van alle zouttypen. De lagere weging van *acidification* in de A2 set draagt bij aan het omgekeerde effect. De relatief hoge bijdrage van *Particulate matter* is met name afkomstig van het diesel gedreven transport.



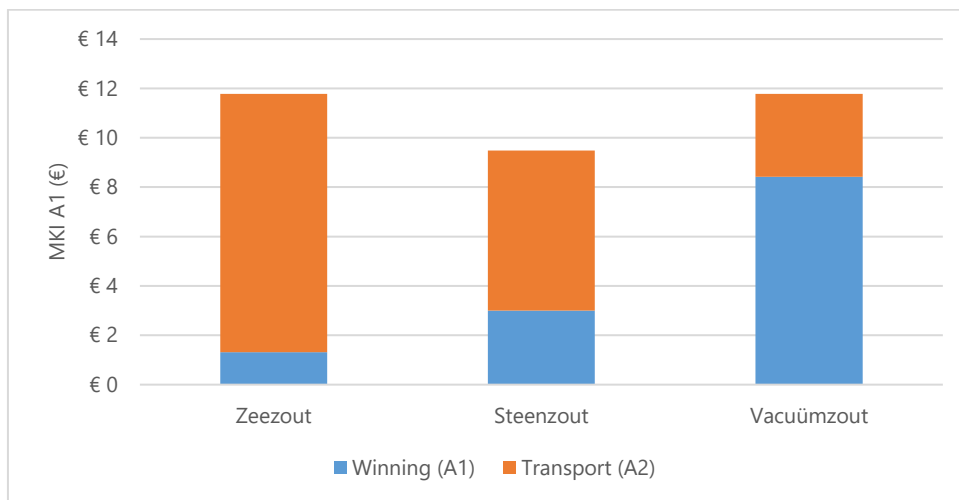
Figuur 4.2

Relevante milieueffecten (A2 weegset) van de gemiddelde productie van zeezout, steenzout en vacuümzout, opgeslagen door Rijkswaterstaat (A1-A3)

4.3.2 Relevante levensfasen

A1 weegset

In Figuur 4.3 is de MKI weergegeven van de gemiddelde productie 1 ton van zeezout, steenzout en vacuümzout, opgeslagen door Rijkswaterstaat in de periode 2016-2023. In dit figuur is te zien dat zeezout de hoogste milieulast heeft, met een MKI van €11,78, gevolgd door vacuümzout met een MKI van €11,77 en steenzout een MKI van €9,49. In dit figuur is te zien dat bij zeezout en steenzout de hoogste milieulast afkomstig is van de transportfase (A2), met een aandeel van respectievelijk 89% en 68%. Bij vacuümzout is dat aandeel slechts 29%. Verder is te zien dat de milieulast van de productie van zeezout (€1,32) en steenzout (€3,00) aanzienlijk lager is dan dat van het vacuümzout (€8,42).

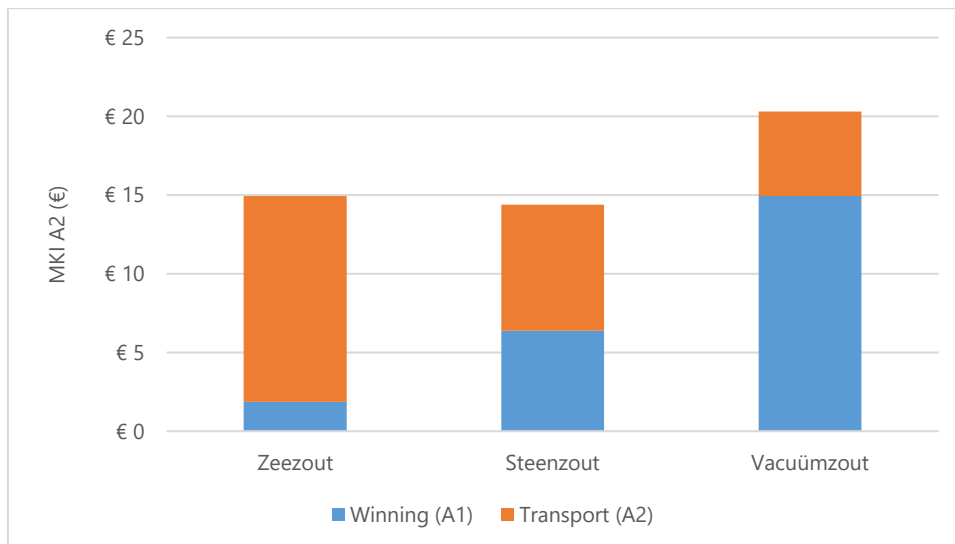


Figuur 4.3

Relevante levensfasen (A1 weegset) van de gemiddelde productie van 1 ton zeezout, steenzout en vacuümzout, opgeslagen door Rijkswaterstaat (A1-A3)

A2 weegset

In Figuur 4.4 is de MKI van de A2 weegset van de verschillende zouten weergegeven. In dit figuur is te zien dat bij de A2 weegset het vacuümzout de hoogste milieulast heeft, met een MKI van €20,31, gevolgd door zeezout met een MKI van €14,93 en steenzout een MKI van €14,38. In overeenstemming met de A1 weegset, is heeft de transportfase de hoogste impact op de MKI bij zeezout en steenzout, en de productiefase de hoogste impact bij het vacuümzout.



Figuur 4.4

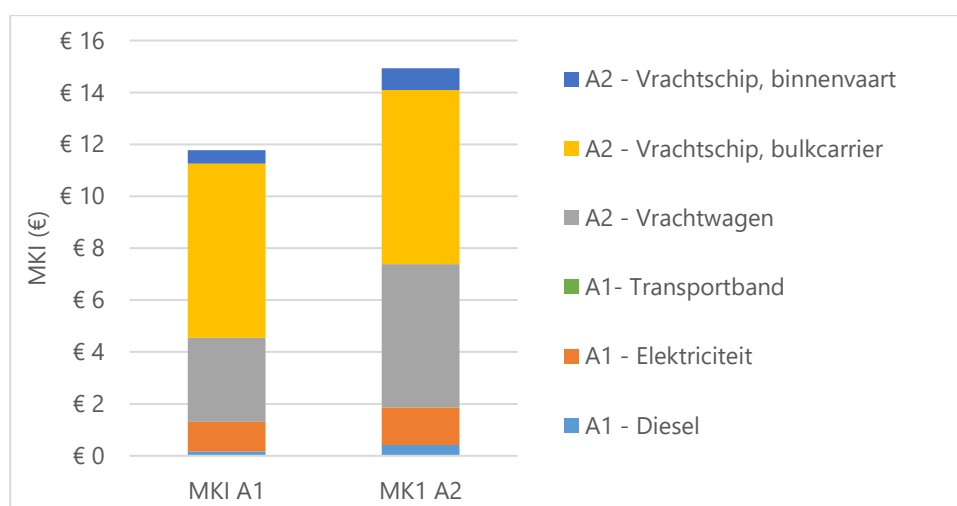
Relevante levensfasen (A2 weegset) van de gemiddelde productie van 1 ton zeezout, steenzout en vacuümzout, opgeslagen door Rijkswaterstaat (A1-A3)

4.3.3 Relevante processen

Zeezout

In Figuur 4.5 is de MKI zowel de A1 als de A2 weegset van 1 ton zeezout, opgeslagen door Rijkswaterstaat, opgesplitst per proces. Het zeezout dat door Rijkswaterstaat tussen 2016 – 2023 is ingekocht, is enkel gewonnen in Tunesië. In het figuur is te zien dat de milieulast voor het winnen (A1) van het zeezout grotendeels afkomstig is van het elektriciteitsverbruik. De milieulast van het transport (A2) is voornamelijk afkomstig van het vervoer middels het vrachtschip – bulkcarrier en het transport middels de vrachtwagen.

De grootste verschillen tussen de resultaten van A1 en A2 weegsets zijn afkomstig van de zwaardere weging van *Climate change/Global warming potential*, waardoor de uitstoot van CO₂ equivalenten een hogere MKI veroorzaken.



Figuur 4.5

Relevante processen (A1 en A2 weegset) voor de gemiddelde productie van 1 ton zeezout tussen 2016-2023, opgeslagen door Rijkswaterstaat (A1-A3)

Steenzout

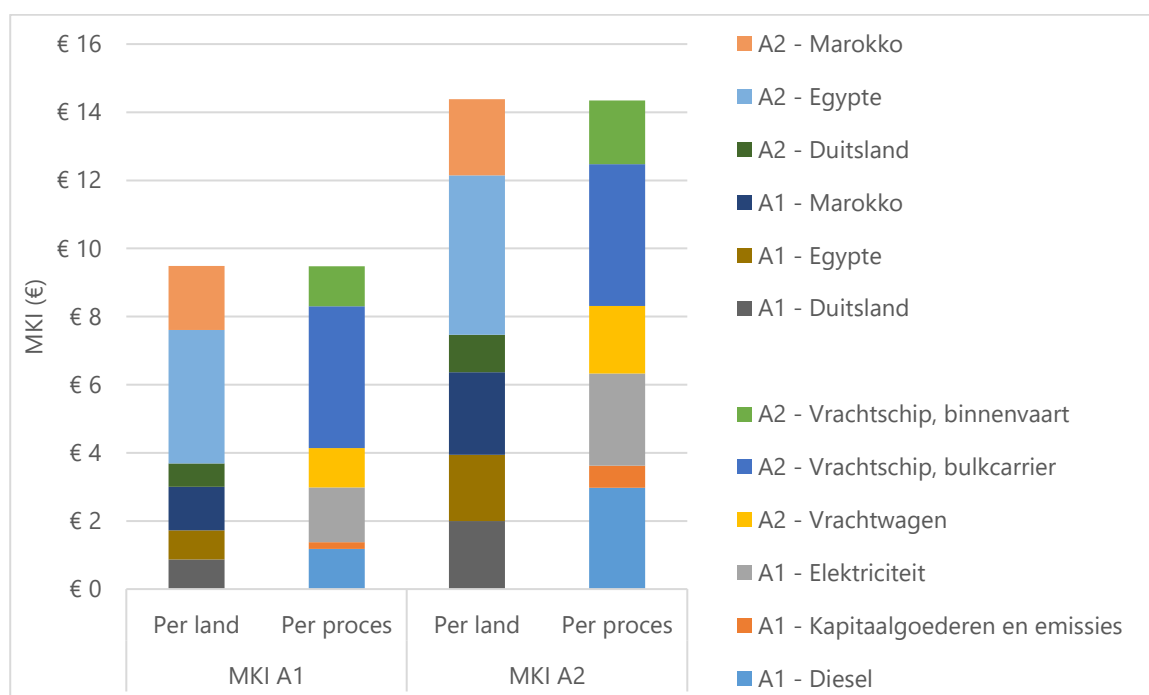
In Figuur 4.6 is de MKI van zowel de A1 als de A2 weegset van de gemiddelde productie 1 ton steenzout, opgeslagen door Rijkswaterstaat, opgesplitst per proces. Van het steenzout dat door Rijkswaterstaat tussen 2016 – 2023 is ingekocht, kwam 32% uit Egypte, 33% uit Duitsland, en 36% uit Marokko.

In het figuur is te zien dat de processen voor het winnen (A1) van het steenzout respectievelijk een aandeel van 32% en 44% van de totale MKI hebben van de A1 en A2 weegset. Daarvan heeft het elektriciteitsverbruik een respectievelijk aandeel van 54% en 43%, het diesilverbruik 40% en 47%, en de kapitaalgoederen en fijnstofemissies 6% en 10%. Het transport (A2) heeft een aandeel van respectievelijk 68% en 54% van de totale MKI van de A1 en A2 weegset, waarvan de hoogste impact afkomstig van het transport middels het vrachtschip – bulkcarrier met respectievelijk 64%

52%, gevolgd door het transport van middels het binnenvaartschip en de vrachtwagen, met beide een aandeel van 18% en 24%.

Verder is in dit figuur te zien dat, ondanks het vergelijkbare aandeel van de drie landen op het totaal, het transport een aanzienlijk hogere impact heeft wanneer het getransporteerd moet worden uit Egypte en Marokko. Daarnaast hebben de winningsprocessen een hogere impact in Marokko (MKI A1: €1,27; MKI A2 €2,43), dan in Egypte (MKI A1: €0,86; MKI A2 €1,94), en Duitsland (MKI A1: €0,87; MKI A2 €2,00), door de verschillen in de productiemix van elektriciteit in de desbetreffende landen.

De grootste verschillen tussen de resultaten van A1 en A2 weegsets zijn wederom afkomstig van de zwaardere weging van *Climate change/Global warming potential*, waardoor de uitstoot van CO₂ equivalenten een hogere MKI veroorzaken.



Figuur 4.6

Relevante processen (A1 en A2 weegset) voor de gemiddelde productie van 1 ton steenzout tussen 2016-2023, opgeslagen door Rijkswaterstaat (A1-A3)

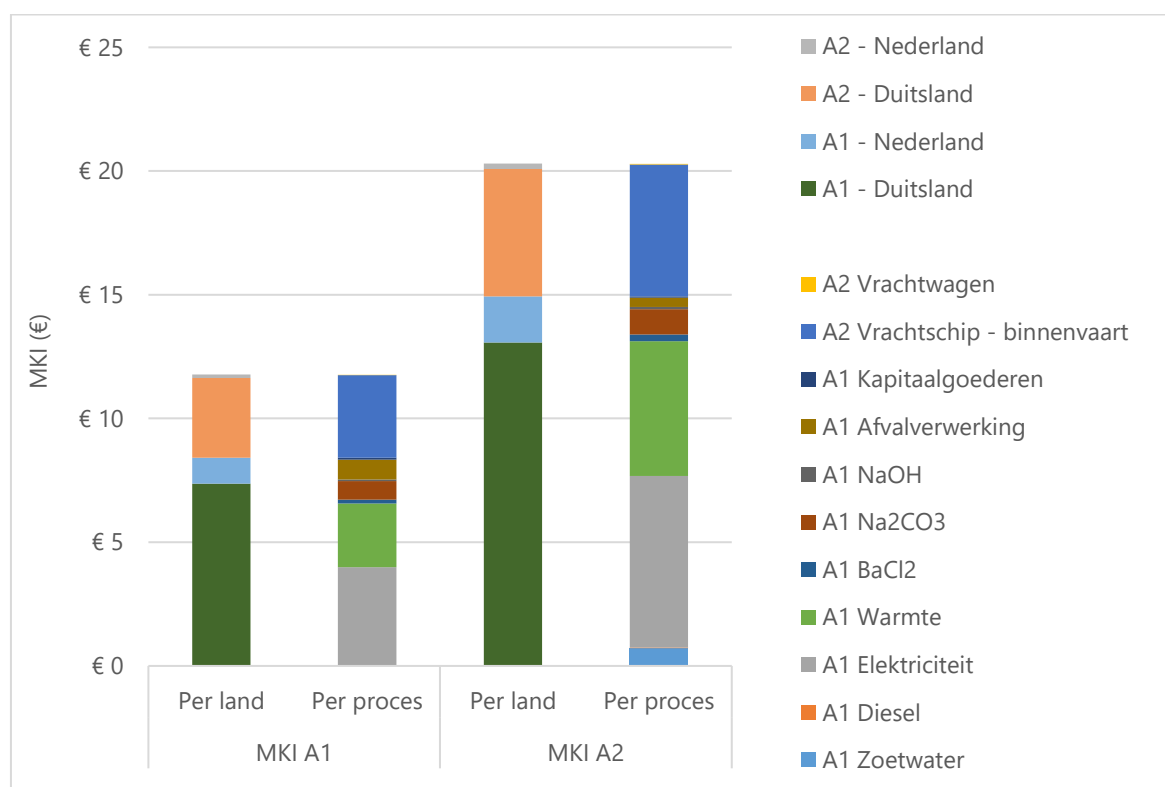
Vacuümzout

In Figuur 4.7 is de MKI van zowel de A1 als de A2 weegset van de gemiddelde productie 1 ton vacuümzout, opgeslagen door Rijkswaterstaat, opgesplitst per proces. Van het vacuümzout dat door Rijkswaterstaat tussen 2016 – 2023 is ingekocht, kwam 87% uit Duitsland, en 13% uit Nederland.

In het figuur is te zien dat de processen voor het winnen (A1) van het vacuümzout een aandeel van respectievelijk 72% en 74% van de totale MKI hebben met de A1 en A2 weegset, waarvan het elektriciteitsverbruik een respectievelijk aandeel heeft van 47% en 46%, en het opwekken van de warmte 31% en 37%. Daarnaast dragen de afvalverwerking (respectievelijk 10% en 3%), het natriumcarbonaat (Na_2CO_3) (respectievelijk 9% en 7%) nog significant bij aan de milieulast van het winnen (A1). De overige processen hebben een bijdrage van minder dan 5%. Van het transport (A2) is de hoogste impact afkomstig van het transport middels het binnenvaartschip, met een bijdrage aan deze fase van bijna 100%.

De verschillen tussen vacuümzout uit Nederland en Duitsland worden in de volgende sectie nader toegelicht.

De grootste verschillen tussen de resultaten van A1 en A2 weegsets zijn afkomstig van de zwaardere weging van *Climate change/Global warming potential*, waardoor de uitstoot van CO_2 equivalenten een hogere MKI veroorzaken. Verder draagt het zoetwatergebruik in de A2 weegset wel bij aan de MKI met €0,72, een kleine 4% van de totale MKI van het vacuümzout.



Figuur 4.7

Relevante processen (A1 en A2 weegset) voor de gemiddelde productie van 1 ton vacuümzout tussen 2016-2023, opgeslagen door Rijkswaterstaat (A1-A3)

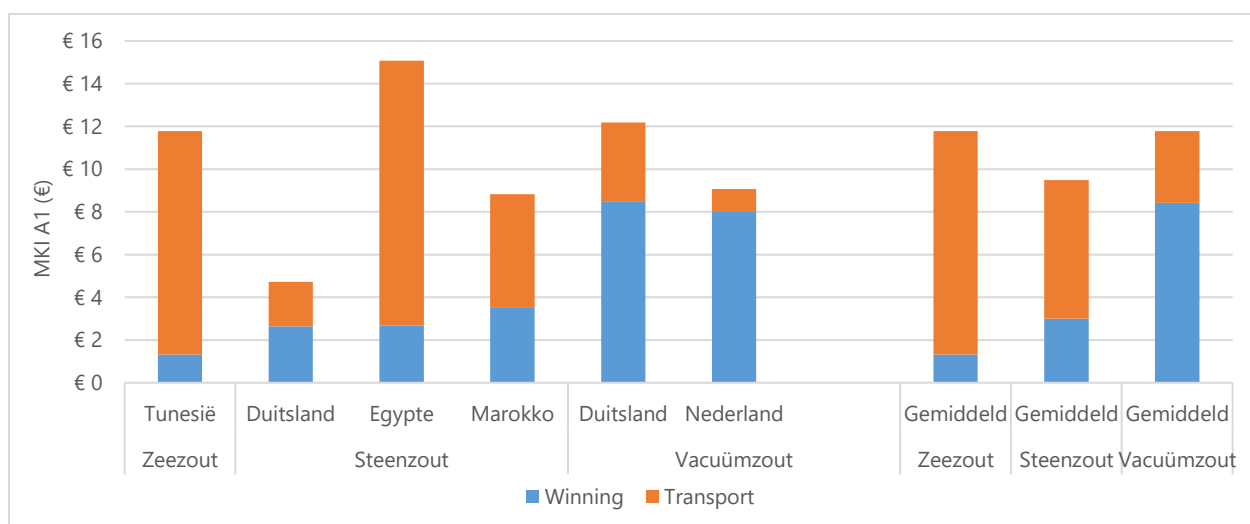
4.3.4 Vergelijking productie zouten per land

A1 weegset

In Figuur 4.8 is de MKI met de A1 weegset weergegeven van productie van 1 ton zeezout, steenzout en vacuümzout, ingekocht door Rijkswaterstaat tussen 2016-2023.

In dit figuur is te zien dat de milieulast van de productie van steenzout sterk varieert tussen de drie productielanden. Het verschil is voornamelijk afkomstig van het verschil in transport naar de opslaglocatie van Rijkswaterstaat. Door de relatief lage milieulast van het winnen van het steenzout en de relatief korte transportafstand naar de opslaglocaties van Rijkswaterstaat, heeft het steenzout uit Duitsland de laagste milieulast van alle zouttypen en landen van herkomst. Het steenzout uit Egypte heeft daarentegen de hoogste milieulast, afkomstig van de grote transportafstand.

De milieulast van vacuümzout varieert minder sterk tussen de twee productielanden. De milieulast van het winnen is vergelijkbaar, met een MKI van €8,48 per ton in Duitsland ten opzichte van €8,03 per ton in Nederland. Door de kortere transportafstand is de milieulast van het transport vanaf de Nederlandse productielocatie wel aanzienlijk lager, met een MKI van €1,04 ten opzichte van €3,70 voor transport vanaf de Duitse productielocaties. Het vacuümzout uit Duitsland heeft daarmee een lagere milieulast dan het steenzout Egypte, en een vergelijkbare impact met het zeezout uit Tunesië, en een hogere milieulast dan het steenzout uit Marokko en Duitsland. Het vacuümzout uit Nederland scoort iets beter, en heeft een vergelijkbare milieulast als het steenzout uit Marokko. De onzekerheid in de resultaten van het vacuümzout zijn echter hoog, omdat het gebruik van duurzame energie de totale milieulast aanzienlijk kan verlagen (zie 4.4). De milieulast van het steenzout uit Duitsland is desalniettemin lager in het best-case scenario dan het vacuümzout uit Nederland in het best-case scenario.



Figuur 4.8

Vergelijking van de productie (A1 weegset) van 1 ton zeezout, steenzout en vacuümzout, ingekocht door Rijkswaterstaat tussen 2016-2023. In het figuur is de gemiddelde productie van de drie zouten weergegeven (rechts) en de productie van de drie zouten opgesplitst per land van afkomst (links).

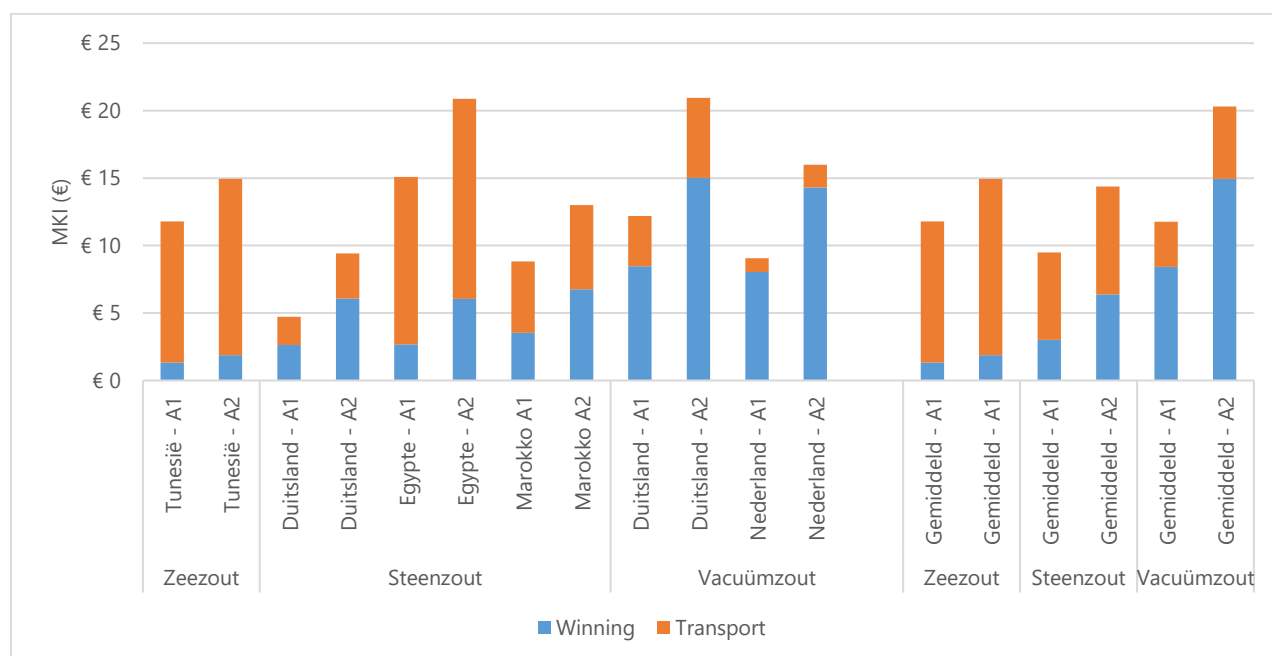
Vergelijking A1 en A2 weegset

In Figuur 4.9 is zijn de resultaten van de A2 weegset toegevoegd aan de resultaten in Figuur 4.8. In dit figuur is te zien dat de A2 weegset voor alle zouttypen en landen van herkomst zorgt voor een toename in de MKI per ton zout.

De toename van de gemiddelde profielen is echter afwisselend tussen de verschillende zouttype. De stijging is het laagste bij zeezout met 27% (volledige levenscyclus), gevolgd door steenzout met 52% en vacuümzout met 72%.

De MKI van de winning neemt ook met name door de zwaardere weging van *Climate change/Global warming potential*. Het direct gebruik fossiele brandstoffen of indirect gebruik (voor opwekking van elektriciteit en warmte) zorgt voor een significante toename in MKI bij de A2 weegset ten opzichte van de A1 weegset. Het verbranden van diesel draagt tevens bij aan een aanzienlijke toename in *Particulate matter*, waardoor met name het steenzout extra stijgt in MKI.

De MKI van het transport neemt ook met name door de zwaardere weging van *Climate change/Global warming potential*. Het transport met een groot aandeel binnenvaartschip neemt verhoudingsgewijs het meeste toe. Ter vergelijking: het binnenvaartschip heeft per tkm met de A1 set een 3,8 keer zo hoge MKI, met de A2 set is dat 6,1 keer zo hoog. Het verschil is afkomstig van het grote verschil in uitstoot van CO₂ equivalenten.



Figuur 4.9

Vergelijking MKI met A1 en A2 weegset van de verschillende zouttypes en landen van herkomst

4.4 Gevoeligheidsanalyse

Door middel van gevoeligheidsanalyses wordt de invloed van de belangrijkste keuzes en aannames op de eindresultaten bepaald. Op deze wijze kan de robuustheid van de resultaten in kaart worden gebracht. Conform de Bepalingsmethode dient er, indien van toepassing, minimaal een gevoeligheidsanalyse te worden uitgevoerd op basis van de onderwerpen in Tabel 4.2. De uitgevoerde gevoeligheidsanalyses zijn in onderstaande secties per zouttype omschreven. In de laatste sectie zijn overkoepelende conclusies getrokken omtrent de gevoeligheidsanalyses.

Tabel 4.2

Overzicht minimale gevoeligheidsanalyses conform de Bepalingsmethode

Onderwerp van gevoeligheidsanalyse	Reden
Invloed van geografische spreiding	N.v.t. voor zeezout, betreft enkel productie uit Tunesië. Het steenzout wordt gewonnen in Duitsland, Egypte en Marokko en het vacuümzout wordt gewonnen in Nederland en Duitsland. De invloed van deze geografische spreiding is geanalyseerd in Sectie 4.3.4.
Invloed van technologische spreiding	Het energieverbruik benodigd voor het winnen van de zouten kan met verschillende technieken opgewekt worden. Ook kan er een verschil zitten in het aandeel van de toegepaste energiedragers. Deze invloed is in onderstaande secties geanalyseerd.
Spreiding in gemiddelde productsamenstelling	N.v.t., het betreft één enkele productsamenstelling.
Spreiding als gevolg van middeling bij het opstellen van groepsgemiddelden	N.v.t., er is geen groepsgemiddelde opgesteld (anders dan dat op basis van geografische spreiding).

4.4.1 Zeezout productie

Winning zeezout (A1)

Omdat er gebruik gemaakt is van literatuurwaarden, is er een onzekerheid in de nauwkeurigheid van de inputwaarden van het winnen van zeezout. De gevonden literatuurwaarden voor het energieverbruik per ton gewonnen zeezout zijn 68 MJ (García-Herrero et al., 2017) en 50 MJ (Mesta, 2023). Tevens is er door de LCA-uitvoerder een inschatting gemaakt voor de verdeling van het energieverbruik van 20% diesilverbruik en 80% elektriciteitsverbruik. Om de gevoeligheid van de resultaten door variatie in deze inputwaarden te analyseren, is er gekeken naar de worst-case en best-case afwijking ten opzichte van het referentieproces (uitgaande van de A1 weegset voor de MKI). Daarbij heeft het worst-case scenario een elektriciteitsverbruik van 68 MJ en geen diesilverbruik, het best-case scenario een elektriciteitsverbruik van 0 MJ en een diesilverbruik van 50 MJ. Het referentieproces heeft een elektriciteitsverbruik van $68 \cdot 0,8 = 54,4$ MJ en een diesilverbruik van $68 \cdot 0,2 = 13,6$ MJ. De resultaten zijn te zien in Tabel 4.3.

In het tabel is te zien dat de afwijking per effectcategorie van worst-case ten opzichte van het referentieprofiel meestal binnen de 20% blijven. Door het verschil in gebruik elektriciteit/diesel hebben sommige effectcategorieën een hogere waarde, en sommige een lagere waarde. Het worst-case scenario is echter niet realistisch, omdat tenminste een deel van het energieverbruik afkomstig moet zijn van het diesilverbruik om de zoutkorst te frezen en voor intern transport van het zout.

De afwijkingen per effectcategorie van best-case ten opzichte van het referentieprofiel zijn significant. Dit scenario is echter ook niet realistisch, omdat naar verwachting een aanzienlijk deel van het energieverbruik afkomstig moet zijn van het elektriciteitsverbruik van de waterpompen, transportbanden en eventueel elektrisch aangedreven bouwmachines.

Wanneer er gekeken wordt naar de A2 weegset, blijkt dat het referentieprofiel de hoogste MKI heeft, in plaats van de 'worst-case'. Dit heeft te maken met het verschil in impact per MJ van de waterpomp en verbranding van diesel. In de A1 weegset heeft 1 MJ middels waterpomp een MKI van €0,021, en de diesel €0,012. Bij de A2 set is dit respectievelijk €0,027 en €0,030, waardoor het dieselvebruik dus slechter scoort in plaats van beter dan de elektrische pomp.

De variatie in MKI van de A2 set door onzekerheid in de inputgegevens is aanzienlijk kleiner dan bij de A1 set.

Tabel 4.3

Afwijking worst-case en best-case ten opzichte van referentieprofiel winnen zeezout

Effectcategorie	Toename worst-case	Afname best-case	Aandeel categorie MKI referentie
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	22%	92%	0%
002. abiotic depletion, fuel (AD)	15%	72%	1%
004. global warming (GWP)	12%	61%	45%
005. ozone layer depletion (ODP)	-10%	-4%	0%
006. photochemical oxidation (POCP)	-20%	-33%	1%
007. acidification (AP)	-22%	-38%	8%
008. eutrophication (EP)	-42%	-97%	3%
009. human toxicity (HT)	16%	72%	41%
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	10%	56%	0%
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	12%	60%	2%
014. Ecotoxicity, terrestrial (TETP)	23%	96%	0%
MKI A1	9%	54%	
052. Climate change - Fossil	12%	61%	74%
053. Climate change - Biogenic	3%	41%	0%
054. Climate change - Land use and LU ch	9%	60%	0%
055. Ozone depletion	-13%	-12%	0%
056. Acidification	-26%	-49%	1%
057. Eutrophication, freshwater	19%	85%	0%
058. Eutrophication, marine	-49%	-118%	2%
059. Eutrophication, terrestrial	-48%	-114%	2%
060. Photochemical ozone formation	-44%	-103%	2%
061. Resource use, minerals and metals	22%	92%	0%
062. Resource use, fossils	14%	68%	4%
063. Water use	21%	89%	0%
064. Particulate matter	-75%	-193%	13%
065. Ionising radiation	-63%	-157%	0%
066. Ecotoxicity, freshwater	15%	72%	1%
067. Human toxicity, cancer	19%	83%	0%
068. Human toxicity, non-cancer	18%	80%	1%
069. Land use	6%	46%	0%
MKI A2	-3%	18%	

Wanneer er gekeken wordt naar de gevoeligheid van de resultaten door de best-case en worst-case scenario's op de totale productiefase, d.w.z. het winnen van het zeezout plus het transport, zijn de afwijkingen aanzienlijk lager. In Tabel 4.4 is te zien dat de maximale afwijking per effectcategorie ruim binnen de 20% valt, behalve voor *Ecotoxicity, terrestrial* in het best-case scenario, welke voor minder dan 1% bijdraagt aan de MKI (A1). Bij de A2 weegset is dat bij *Water use* en *Particulate matter*, beide een bijdrage lager dan 1% aan de MKI (A2).

Tabel 4.4

Afwijking worst-case en best-case ten opzichte van referentieprofiel productie zeezout (winning + transport)

Effectcategorie	Toename worst-case	Afname best-case	Aandeel categorie MKI referentie
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	2%	7%	0%
002. abiotic depletion, fuel (AD)	3%	15%	1%
004. global warming (GWP)	2%	10%	42%
005. ozone layer depletion (ODP)	-1%	0%	0%
006. photochemical oxidation (POCP)	-1%	-2%	1%
007. acidification (AP)	-1%	-1%	24%
008. eutrophication (EP)	-2%	-4%	12%
009. human toxicity (HT)	3%	12%	18%
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	1%	4%	0%
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	1%	4%	2%
014. Ecotoxicity, terrestrial (TETP)	9%	37%	0%
MKI A1	1%	6%	
052. Climate change - Fossil	2%	10%	3%
053. Climate change - Biogenic	1%	12%	0%
054. Climate change - Land use and LU ch	0%	1%	0%
055. Ozone depletion	-1%	-1%	0%
056. Acidification	-1%	-1%	0%
057. Eutrophication, freshwater	4%	16%	0%
058. Eutrophication, marine	-2%	-4%	0%
059. Eutrophication, terrestrial	-2%	-4%	0%
060. Photochemical ozone formation	-2%	-4%	0%
061. Resource use, minerals and metals	2%	7%	0%
062. Resource use, fossils	3%	13%	44%
063. Water use	5%	22%	0%
064. Particulate matter	-8%	-22%	0%
065. Ionising radiation	-2%	-4%	0%
066. Ecotoxicity, freshwater	3%	12%	34%
067. Human toxicity, cancer	4%	15%	0%
068. Human toxicity, non-cancer	4%	16%	0%
069. Land use	0%	1%	19%
MKI A2	0%	2%	

Transport zeezout (A2)

De onzekerheid in het transport is laag. De gekozen processen voor het vervoer per vrachtschip (zowel bulkcarrier als binnenvaart) worden representatief geacht. Het proces voor transport middels vrachtwagen in Tunesië heeft een kleine onzekerheid.

Het transport middels vrachtwagen is gemodelleerd met het forfaitaire proces van de NMD⁸. Dit proces bestaat voor >83% uit EURO3 en EURO4 vrachtwagens (alle inhoudsmaten). Wanneer dit proces vervangen wordt door het Ecoinvent proces van een EURO3 vrachtwagen van 16-32 ton⁹, neemt de MKI van het zeezout (winning + transport) 8% toe bij de A1 weegset en 13% bij de A2 weegset. Wanneer het Ecoinvent proces van een EURO3 vrachtwagen van >32 ton¹⁰ gebruikt wordt, neemt de MKI van het totaal 7% af bij A1 en 8% bij A2. Het huidige transportproces voor vrachtvervoer wordt daarom aannemelijk geacht.

4.4.2 Steenzout

Winning steenzout (A1)

Omdat er gebruik gemaakt is van literatuurwaarden, is er een onzekerheid in de nauwkeurigheid van de inputwaarden van het winnen van steenzout. De gevonden literatuurwaarden voor het energieverbruik per ton gewonnen steenzout zijn 195 MJ (García-Herrero et al., 2017) en 141 MJ (GC Rieber, 2022). Tevens is er door de LCA-uitvoerder een inschatting gemaakt voor de verdeling van het energieverbruik van 50% dieselverbruik en 50% elektriciteitsverbruik.

Om de gevoeligheid van de resultaten door variatie in deze inputwaarden te analyseren, is er gekeken naar de worst-case en best-case afwijking ten opzichte van het referentieproces. Omdat het steenzout geproduceerd in Marokko de hoogste milieulast heeft door de hoogste milieulast van elektriciteit van het net, zal de afwijking van dit proces het hoogste zijn. De gevoeligheid is daarom geanalyseerd voor het steenzout uit Marokko, de afwijking voor steenzout uit Duitsland en Egypte zal kleiner zijn.

Het worst-case scenario is een elektriciteitsverbruik van 195 MJ en geen dieselverbruik, het best-case scenario een elektriciteitsverbruik van 0 MJ en een dieselverbruik van 141 MJ. Het referentieproces heeft een elektriciteitsverbruik van $195 \cdot 0,5 = 97,5$ MJ en een dieselverbruik van $195 \cdot 0,5 = 97,5$ MJ. De resultaten zijn te zien in Tabel 4.5. In deze tabel is te zien dat de afwijking per effectcategorie voor worst-case en best-case ten opzichte van het referentieproces groot is. Omdat er zeker zowel diesel als elektriciteit verbruikt wordt voor het winnen van steenzout, zal het werkelijke verbruik naar verwachting meer in het midden liggen. De variatie in MKI van de A2 set door onzekerheid in de inputgegevens is aanzienlijk kleiner dan bij de A1 set.

⁸ 0001-transport, vrachtwagen (o.b.v. Transport, freight, lorry, unspecified {GLO}| market group for transport, freight, lorry, unspecified | Cut-off, U)

⁹ Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro3 {RoW}| market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO3 | Cut-off, U

¹⁰ Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro3 {RoW}| market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3 | Cut-off, U

Tabel 4.5

Afwijking worst-case en best-case ten opzichte van referentieprofiel winning steenzout Marokko

Effectcategorie	Toename worst-case	Afname best-case	Aandeel categorie MKI referentie
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	33%	45%	0%
002. abiotic depletion, fuel (AD)	46%	61%	1%
004. global warming (GWP)	41%	57%	43%
005. ozone layer depletion (ODP)	-39%	-1%	0%
006. photochemical oxidation (POCP)	-16%	12%	1%
007. acidification (AP)	34%	50%	27%
008. eutrophication (EP)	-14%	13%	8%
009. human toxicity (HT)	5%	30%	18%
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	14%	37%	0%
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	47%	61%	2%
014. Ecotoxicity, terrestic (TETP)	72%	79%	0%
MKI A1	28%	46%	
052. Climate change - Fossil	41%	57%	53%
053. Climate change - Biogenic	96%	94%	0%
054. Climate change - Land use and LU ch	82%	86%	0%
055. Ozone depletion	-41%	-2%	0%
056. Acidification	26%	43%	2%
057. Eutrophication, freshwater	92%	94%	0%
058. Eutrophication, marine	-25%	5%	4%
059. Eutrophication, terrestrial	-23%	5%	5%
060. Photochemical ozone formation	-25%	6%	4%
061. Resource use, minerals and metals	33%	45%	0%
062. Resource use, fossils	34%	52%	2%
063. Water use	45%	49%	0%
064. Particulate matter	-69%	-25%	25%
065. Ionising radiation	-54%	-12%	0%
066. Ecotoxicity, freshwater	4%	6%	5%
067. Human toxicity, cancer	3%	28%	0%
068. Human toxicity, non-cancer	22%	41%	0%
069. Land use	31%	45%	0%
MKI A2	2%	27%	

Wanneer er gekeken wordt naar de gevoeligheid van de resultaten door de best-case en worst-case scenario's op de totale productiefase, d.w.z. het winnen van het steenzout plus het transport, zijn de afwijkingen aanzienlijk lager. In Tabel 4.6 is te zien dat de afwijking per effectcategorie voor worst-case en best-case en opzichte van het referentieproces voor de meest relevante effect categorieën (bijdrage MKI met A1 weegset >2%) binnen de 20% valt, behalve voor de best-case afwijking op *Global warming potential* met een afwijking van 29%. Bij de A2 weegset geldt dat voor *Climate change* en *Particulate matter*.

Tabel 4.6

Afwijking worst-case en best-case ten opzichte van referentieprofiel productie steenzout uit Marokko (winning + transport)

Effectcategorie	Toename worst-case	Afname best-case	Aandeel categorie MKI referentie
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	5%	7%	0%
002. abiotic depletion, fuel (AD)	25%	33%	1%
004. global warming (GWP)	21%	29%	28%
005. ozone layer depletion (ODP)	-13%	0%	0%
006. photochemical oxidation (POCP)	-6%	5%	1%
007. acidification (AP)	11%	17%	36%
008. eutrophication (EP)	-5%	5%	9%
009. human toxicity (HT)	2%	10%	23%
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	4%	11%	0%
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	17%	22%	2%
014. Ecotoxicity, terrestic (TETP)	34%	37%	0%
MKI A1	11%	19%	
052. Climate change - Fossil	21%	29%	54%
053. Climate change - Biogenic	102%	100%	0%
054. Climate change - Land use and LU ch	22%	22%	0%
055. Ozone depletion	-13%	-1%	0%
056. Acidification	9%	15%	3%
057. Eutrophication, freshwater	75%	76%	0%
058. Eutrophication, marine	-8%	2%	6%
059. Eutrophication, terrestrial	-8%	2%	7%
060. Photochemical ozone formation	-8%	2%	6%
061. Resource use, minerals and metals	5%	7%	0%
062. Resource use, fossils	17%	26%	2%
063. Water use	31%	34%	0%
064. Particulate matter	-50%	-18%	18%
065. Ionising radiation	-16%	-4%	1%
066. Ecotoxicity, freshwater	4%	5%	3%
067. Human toxicity, cancer	1%	7%	0%
068. Human toxicity, non-cancer	9%	17%	0%
069. Land use	9%	12%	0%
MKI A2	1%	14%	

Transport steenzout (A2)

De onzekerheid in het transport is laag. De gekozen processen voor het vervoer per vrachtschip (zowel bulkcarrier als binnenvaart) worden representatief geacht. Het proces voor transport middels vrachtwagen in Egypte en Marokko heeft een kleine onzekerheid.

Het transport middels vrachtwagen is gemodelleerd met het forfaitaire proces van de NMD⁸. Dit proces bestaat voor >83% uit EURO3 en EURO4 vrachtwagens (alle inhoudsmaten). Wanneer dit proces vervangen wordt door het Ecoinvent proces van een EURO3 vrachtwagen van 16-32 ton⁹, neemt de MKI van het zeezout (winning + transport) 4% toe bij de A1 weegset en 5% bij de A2

weegset. Wanneer het Ecoinvent proces van een EURO3 vrachtwagen van >32 ton¹⁰ gebruikt wordt, neemt de MKI van het totaal 3% af (A1 en A2). Het huidige transportproces voor vrachtvervoer wordt daarom aannemelijk geacht.

4.4.3 Vacuümzout

Winning vacuümzout (A1)

Het energieverbruik van de productie van het vacuümzout (zonder transport naar RWS) heeft een aandeel van 75% van de MKI. De manier waarop deze energie opgewekt wordt, heeft daarom een significante impact op de totale milieulast van de productie. In deze sectie wordt daarom de gevoeligheid van de kwantificatie en proceskeuzes van de het energieverbruik geanalyseerd. Eerst wordt er gekeken naar de winning in Nederland, daarna de winning in Duitsland.

Nederland

In het rapport van TNO (2021) wordt benoemd dat Nobian (83% van Nederlandse productie in 2017) gebruikt maakt van WKK's met een efficiëntie van boven de 85%. Daarnaast maakt Nobian gebruik van restwarmte van de pyrolyse installatie van Empyro en komt maximaal de helft van het stoomverbruik van een afvalverbrandingsinstallatie (AVI) in Twente (RVO, 2011). Zoutproducent Frisia Zout¹¹ (13% van Nederlandse productie in 2017) maakt tevens gebruik van restwarmte voor de productie van stoom. Het is niet bekend welk aandeel van de stoomproductie hiermee voorzien wordt.

Om de maximale afwijking te analyseren, is er gekeken naar de afname van de milieulast van de vacuümzout productie in Nederland wanneer 50% van de warmteproductie voorzien wordt door restwarme en de WKK een efficiëntie heeft van 85% ten opzichte van de 47% in het originele Ecoinvent proces. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 4.7. In deze tabel is te zien dat er bij bijna alle effectcategorieën een significante afname is in dit best-case scenario, en dat de MKI afneemt met 43% op basis van de A1 weegset en 46% op basis van de A2 weegset.

In Tabel 4.8 is te zien dat wanneer er gekeken wordt naar de afwijking van het best-case scenario in de volledige productie (winnen + transport), de afwijkingen nog steeds significant zijn, omdat het transport een relatief kleine bijdrage levert aan de productie.

¹¹ Het door Rijkswaterstaat ingekochte vacuümzout uit Nederland is in de gemeten periode 2016-2023 afkomstig geweest van Frisia Zout.

Tabel 4.7

Afwijking best-case ten opzichte van referentieprofiel winnen vacuümzout in Nederland

Effectcategorie	Afname best-case	Aandeel categorie MKI referentie
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	6%	0%
002. abiotic depletion, fuel (AD)	53%	2%
004. global warming (GWP)	51%	60%
005. ozone layer depletion (ODP)	51%	0%
006. photochemical oxidation (POCP)	43%	0%
007. acidification (AP)	30%	7%
008. eutrophication (EP)	11%	7%
009. human toxicity (HT)	35%	22%
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	16%	0%
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	30%	1%
014. Ecotoxicity, terrestic (TETP)	23%	0%
MKI A1	43%	
052. Climate change - Fossil	51%	80%
053. Climate change - Biogenic	1%	1%
054. Climate change - Land use and LU ch	18%	0%
055. Ozone depletion	51%	0%
056. Acidification	30%	1%
057. Eutrophication, freshwater	3%	0%
058. Eutrophication, marine	16%	3%
059. Eutrophication, terrestrial	32%	2%
060. Photochemical ozone formation	41%	1%
061. Resource use, minerals and metals	6%	0%
062. Resource use, fossils	53%	4%
063. Water use	14%	2%
064. Particulate matter	13%	5%
065. Ionising radiation	30%	0%
066. Ecotoxicity, freshwater	7%	2%
067. Human toxicity, cancer	22%	0%
068. Human toxicity, non-cancer	18%	1%
069. Land use	15%	0%
MKI A2	46%	

Tabel 4.8

Afwijking best-case ten opzichte van referentieprofiel productie vacuümzout uit Nederland (winning + transport)

Effectcategorie	Afname best-case	Aandeel categorie MKI referentie
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	6%	0%
002. abiotic depletion, fuel (AD)	50%	1%
004. global warming (GWP)	47%	42%
005. ozone layer depletion (ODP)	45%	0%
006. photochemical oxidation (POCP)	34%	1%
007. acidification (AP)	21%	24%
008. eutrophication (EP)	9%	12%
009. human toxicity (HT)	32%	19%
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	14%	0%
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	25%	2%
014. Ecotoxicity, terrestic (TETP)	20%	0%
MKI A1	38%	
052. Climate change - Fossil	47%	78%
053. Climate change - Biogenic	1%	1%
054. Climate change - Land use and LU ch	6%	0%
055. Ozone depletion	45%	0%
056. Acidification	21%	1%
057. Eutrophication, freshwater	3%	0%
058. Eutrophication, marine	12%	3%
059. Eutrophication, terrestrial	19%	2%
060. Photochemical ozone formation	24%	2%
061. Resource use, minerals and metals	6%	0%
062. Resource use, fossils	49%	4%
063. Water use	14%	2%
064. Particulate matter	11%	5%
065. Ionising radiation	18%	0%
066. Ecotoxicity, freshwater	7%	2%
067. Human toxicity, cancer	20%	0%
068. Human toxicity, non-cancer	17%	1%
069. Land use	10%	0%
MKI A2	41%	

Duitsland

Er is geen literatuur gevonden voor het energieverbruik en energieopwekking van Duitse vacuümzoutproducenten. Mogelijk wordt er geen of minder gebruik gemaakt van WKK's. De resultaten van de Duitse vacuümzoutproductie is daarom vergeleken met dat van de Zwitserse producent Riburg. De inputdata en proceskeuze is daarvoor overgenomen uit een LCA rapport van de producent (Stettler et al., 2019). In Tabel 4.9 is een overzicht gegeven van de verschillen in energieverbruik/opwekking tussen de huidige modellering en de LCA van Riburg. Verder zijn er kleine verschillen in de inputwaarden van de chemicaliën, maar deze zullen geen significante bijdrage leveren. Verder wordt er genoemd dat tenminste een deel van de elektriciteit opgewekt

wordt middels waterkrachtinstallaties. Het is onbekend om welk type waterkrachtinstallatie het gaat en welk aandeel van de elektriciteit hiermee voorzien wordt.

Tabel 4.9

Verskil energieverbruik/opwekking huidige modellering en LCA Riburg

Proces	Eenheid	Huidige modellering	Riburg LCA
Elektriciteit - WKK	MJ	339	
Elektriciteit – net/waterkrachtinstallatie	MJ		684
Warmte – WKK	MJ	1500	
Warmte - warmtenet	MJ		90
Warmte – light fuel oil	MJ		121
Diesel	g	22	80
CO ₂ opname voor zuivering pekelwater	kg		2,44

In Tabel 4.10 is de variatie in milieulast ten opzichte van de huidige modellering van het winnen van het Duitse vacuümzout weergegeven, voor winning op basis van de inputdata van de Riburg productielocatie. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen het opwekken van de elektriciteit middels stroom van het Duitse net en opwekking middels Duitse waterkrachtinstallaties (rivier). In deze tabel is te zien dat de impact van de opwekkingsmethode van de elektriciteit een significant effect heeft op de afwijking van de milieulast. Omdat er bij de productielocatie van Riburg meer elektriciteit en minder warmte verbruikt wordt, leidt dit tot een significante toename in milieulast als de elektriciteit niet duurzaam wordt opgewekt, en tot een significante afname wanneer dit wel het geval is.

Tabel 4.10

Afwijking winning vacuümzout met Riburg LCI en elektriciteitsopwekking middels Duits net en waterkrachtinstallaties ten opzichte van huidige modellering van winnen Duits vacuümzout

Effectcategorie	Toename Riburg - net	Afname Riburg - water	Aandeel MKI huidige modellering
001. abiotic depletion, non fuel (AD)	-11%	38%	0%
002. abiotic depletion, fuel (AD)	11%	83%	2%
004. global warming (GWP)	36%	74%	60%
005. ozone layer depletion (ODP)	-29%	80%	0%
006. photochemical oxidation (POCP)	2%	59%	1%
007. acidification (AP)	69%	42%	9%
008. eutrophication (EP)	85%	17%	7%
009. human toxicity (HT)	65%	-21%	21%
010. Ecotoxicity, fresh water (FAETP)	91%	-7%	0%
012. Ecotoxicity, marine water (MAETP)	164%	-12%	1%
014. Ecotoxicity, terrestic (TETP)	217%	-10%	0%
MKI A1	49%	47%	
052. Climate change - Fossil	37%	72%	80%
053. Climate change - Biogenic	966%	3%	1%
054. Climate change - Land use and LU ch	1107%	35%	0%
055. Ozone depletion	-35%	78%	0%

056. Acidification	68%	43%	1%
057. Eutrophication, freshwater	367%	4%	0%
058. Eutrophication, marine	14%	27%	2%
059. Eutrophication, terrestrial	51%	57%	2%
060. Photochemical ozone formation	19%	62%	1%
061. Resource use, minerals and metals	-11%	38%	0%
062. Resource use, fossils	15%	81%	4%
063. Water use	-29%	36%	1%
064. Particulate matter	50%	14%	5%
065. Ionising radiation	1058%	-173%	0%
066. Ecotoxicity, freshwater	32%	6%	2%
067. Human toxicity, cancer	58%	-21%	0%
068. Human toxicity, non-cancer	64%	-3%	1%
069. Land use	121%	28%	0%
MKI A2	43%	65%	

Transport vacuümzout (A2)

De onzekerheid in het transport is laag. De gekozen processen voor het vervoer per vrachtschip (zowel bulkcarrier als binnenvaart) en het transport per vrachtwagen worden representatief geacht.

4.4.4 Overkoepelende conclusie gevoeligheidsanalyses

In deze sectie worden overkoepelende conclusies van de gevoeligheidsanalyses getrokken voor de drie zouttypen.

Zeezout

De onzekerheid in het aandeel en de hoeveelheid verbruik diesel/elektriciteit bij het winnen van het zeezout leidt tot een significante spreiding op sommige effectcategorieën, al is de spreiding in de MKI laag. De spreiding in de worst-case en best-case scenario's worden echter zeer onwaarschijnlijk geacht, waardoor de werkelijke maximale afwijkingen naar verwachting aanzienlijk lager zullen zijn.

De onzekerheid in de resultaten van de productie van zeezout zijn laag wanneer het winnen van het zout en het transport naar de opslaglocatie van Rijkswaterstaat gezamenlijk beschouwd worden. Dit komt door de lage onzekerheid in het transport en het grote aandeel daarvan op de totale milieulast in de totale productiefase. De huidige resultaten worden hierdoor representatief en bruikbaar geacht.

Steenzout

In Sectie 4.3.4 is te zien dat de spreiding in milieulast door geografische spreiding enorm is. Het steenzout uit Egypte heeft de hoogste MKI van alle zouttypen en winningslocaties, het steenzout uit Duitsland het laagste en het steenzout uit Marokko heeft een gemiddelde MKI. Op basis van deze resultaten is het niet aan te raden om een gemiddeld milieuprofiel toe te passen van deze drie landen van herkomst.

De onzekerheid in het aandeel en de hoeveelheid verbruik diesel/elektriciteit bij het winnen van het steenzout (zonder middeling van land van herkomst) leidt tot een significante spreiding op sommige effectcategorieën. De maximale spreiding in de MKI is tevens aanzienlijk. De spreiding in de worst-case en best-case scenario's worden echter zeer onwaarschijnlijk geacht, waardoor de werkelijke maximale afwijkingen naar verwachting aanzienlijk lager zullen zijn. Inventarisatie van het energieverbruik bij de steenzoutproducenten kan de onzekerheid wegnemen.

De onzekerheid in de resultaten van de productie van steenzout zijn aanzienlijk lager wanneer het winnen van het zout en het transport naar de opslaglocatie van Rijkswaterstaat gezamenlijk beschouwd worden. Dit komt door de lage onzekerheid in het transport en het grote aandeel daarvan op de totale milieulast in de totale productiefase. De huidige land specifieke resultaten worden daarom bruikbaar geacht wanneer het niet mogelijk is om de productiegegevens te inventariseren. De onzekerheid in het gemiddelde profiel voor steenzout is daarentegen zodanig hoog, dat deze onbruikbaar wordt geacht.

Vacuümzout

In Sectie 4.3.4 is te zien dat de spreiding in milieulast door geografische spreiding significant is, al is de spreiding aanzienlijk lager dan dat van de productie van steenzout. Het is aan te raden om een specifiek milieuprofiel te gebruiken voor het desbetreffende land van herkomst.

De onzekerheid in de toegepaste energieopwekkingstechnieken bij de Nederlandse winning van vacuümzout kan leiden tot een significant lagere milieulast wanneer het best-case scenario realistisch blijkt te zijn. De maximale afwijking wordt nauwelijks tenietgedaan wanneer er gekeken wordt naar de totale productiefase, omdat het transport daarin slechts een klein aandeel heeft van de milieulast. Naar verwachting zal de huidige modellering een conservatief beeld schetsen van het winningsproces van vacuümzout in Nederland, omdat de rapportage van TNO voor zowel Frisia Zout als voor Nobian (samen 96% marktaandeel NL in 2017) duurzame opwekkingstechnieken omschrijft.

De grote afwijking laat tevens zien dat de verschillen tussen de Nederlandse producenten tevens significant kan zijn, omdat de energieopwekkingstechnieken een groot effect hebben op de totale milieulast. Om een nauwkeurig milieuprofiel te bepalen voor het vacuümzout uit Nederland, wordt aangeraden om een volledige inventarisatie van de winningsprocessen te inventariseren. De huidige milieuprofielen zijn bruikbaar als conservatieve aanname.

De onzekerheid van de resultaten voor de winning van vacuümzout in Duitsland zijn aanzienlijk groter dan dat van de winning in Nederland. De kwantificatie van de materiaal- en energiestromen uit het rapport van TNO worden representatief geacht voor de winning binnen Nederland, maar zijn mogelijk minder representatief voor winning in Duitsland. Een mogelijke andere verhouding in verbruik van elektriciteit en warmte zorgt voor een additionele onzekerheid bovenop dat van de energieopwekkingstechnieken. Om een nauwkeurig milieuprofiel te bepalen voor het vacuümzout

uit Duitsland, wordt daarom tevens aangeraden om een volledige inventarisatie van de winningsprocessen uit te voeren. De huidige modellering ligt echter redelijk in het midden van de onderzochte worst-case en best-case scenario's, waardoor het kan dienen voor een grove vergelijking. Wanneer het milieuprofiel gebruikt dient te worden voor het maken van beleids- en/of inkoopkeuzes, wordt sterk aangeraden om nader onderzoek uit te voeren om de onzekerheid te reduceren.

5 Calculatietool

De gevoeligheidsanalyse heeft aangetoond dat de resultaten erg gevoelig zijn voor variaties in de geografie van de winningslocatie en de bijbehorende transportafstanden en -modi. Om Rijkswaterstaat de mogelijkheid te geven om de milieuprestatie van het wegzout van toekomstige leveranciers te bepalen en vergelijken, is een eenvoudige calculatietool opgezet. In dit hoofdstuk wordt omschreven hoe de tool gebruikt moet worden, en wat de mogelijkheden en beperkingen zijn van de tool. In de eerste sectie wordt de inputdata voor de zoutwinning en het transport omschreven. Daarna wordt uitgelegd hoe de tool gebruikt moet worden.

5.1 Inputdata

5.1.1 Winning (A1)

De milieulast afkomstig van de winningsprocessen van de zouten wordt berekend op basis van de processen zoals omschreven in Sectie 3.3.1. In Tabel 5.1 is een overzicht weergegeven van alle milieuprofielen die opgenomen zijn in het model. Er is onderscheid gemaakt tussen de drie zouttypes en bijbehorende landen van herkomst (op basis van inkoopdata van Rijkswaterstaat uit 2016-2023).

Het is niet mogelijk om de achterliggende inputdata van deze processen te wijzigen. Zo is het bijvoorbeeld niet mogelijk om het elektriciteitsverbruik voor het winnen van vacuümzout aan te passen. De resultaten van de winningsprocessen worden tevens niet opgesplitst weergegeven in de onderliggende processen, enkel de totale score voor deze fase wordt weergegeven. Voor het inzien van het aandeel van de verschillende productieprocessen, kan gebruik gemaakt worden van Sectie 4.3.3 van deze studie.

Tabel 5.1

Proceskeuze winning op basis van zouttypes en herkomst

Zouttype	Herkomst	Procesnaam calculatietool	Database
Zeezout	Tunesië	Winning, Zeezout, Tunesië	LBP SIGHT o.b.v. Ecoinvent 3.6/NMD 3.8
Steenzout	Duitsland	Winning, Steenzout, Duitsland	LBP SIGHT o.b.v. Ecoinvent 3.6/NMD 3.8
Steenzout	Egypte	Winning, Steenzout, Egypte	LBP SIGHT o.b.v. Ecoinvent 3.6/NMD 3.8
Steenzout	Marokko	Winning, Steenzout, Marokko	LBP SIGHT o.b.v. Ecoinvent 3.6/NMD 3.8
Steenzout	Gewogen gemiddelde	Winning, Steenzout, Gewogen gemiddelde	LBP SIGHT o.b.v. Ecoinvent 3.6/NMD 3.8
Vacuümzout	Nederland	Winning, Vacuümzout, Nederland	LBP SIGHT o.b.v. Ecoinvent 3.6/NMD 3.8
Vacuümzout	Duitsland	Winning, Vacuümzout, Duitsland	LBP SIGHT o.b.v. Ecoinvent 3.6/NMD 3.8
Vacuümzout	Gewogen gemiddelde	Winning, Vacuümzout, Gewogen gemiddelde	LBP SIGHT o.b.v. Ecoinvent 3.6/NMD 3.8

5.1.2 Transport (A2)

Voor het berekenen van de milieulast afkomstig van het transport van de winningslocatie tot de opslaglocatie van Rijkswaterstaat (A2) is verzameling van generieke processen uit de NMD-processendatabase (3.8) en de Ecoinvent database (3.6) opgenomen.

In Tabel 5.2 is een overzicht weergegeven van alle opties die geselecteerd kunnen worden omtrent transport middels vrachtwagen. Er is onderscheid gemaakt tussen vrachtwagens die rijden op diesel, elektriciteit of waterstof. Bij de diesel vrachtwagens, is onderscheid gemaakt tussen de emissieklasse (EURO3/4/5/6) en de toegepaste geografie (RER/RoW/GLO). Voor vrachtvervoer binnen Europa kan gekozen worden voor RER (Region of Europe), voor vrachtvervoer buiten Europa kan gekozen worden voor RoW (Rest of World). Wanneer de emissieklasse en/of geografie niet bekend zijn, kan er gekozen worden voor emissieklasse "Onbekend". Dit proces is een combinatie van EURO3/4/5/6 processen, met een mondiale geografische representativiteit (GLO; global).

Voor de elektrische vrachtwagens is er onderscheid gemaakt tussen het verbruik van groene en grijze stroom. Voor de waterstof vrachtwagens is er onderscheid gemaakt tussen waterstof productie middels SMR (Steam Methane Reforming) of elektrolyse, waarbij er onderscheid is gemaakt tussen productie middels een grijze of groene elektriciteitsmix. Omdat de Nederlandse elektriciteitsmixen voor deze processen gebruikt zijn, zijn de processen enkel representatief voor toepassing binnen Nederland.

Voor alle typen vrachtwagens is uitgegaan van een laadvermogen van >32 ton. Mogelijk wordt het wegzout soms in vrachtwagens met een lager laadvermogen (en daarmee een hogere milieulast) vervoerd. De processen van de vrachtwagens op waterstof en elektriciteit zijn echter alleen beschikbaar in de NMD database voor een laadvermogen van >32 ton. Om een eerlijke vergelijking mogelijk te maken, is er daarom gekozen voor een enkel laadvermogen van >32 ton.

Tabel 5.2

Proceskeuze transport vrachtwagen

Energiedrager	Emissieklasse/opwekking	Geografie	Procesnaam calculatietool	Database	Proces
Diesel	EURO3	RER	Vrachtwagen, Diesel, EURO3, RER	Ecoinvent 3.6	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro3 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3 Cut-off, U
Diesel	EURO3	RoW	Vrachtwagen, Diesel, EURO3, RoW	Ecoinvent 3.6	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro3 {RoW} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3 Cut-off, U
Diesel	EURO4	RER	Vrachtwagen, Diesel, EURO4, RER	Ecoinvent 3.6	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro4 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 Cut-off, U
Diesel	EURO4	RoW	Vrachtwagen, Diesel, EURO4, RoW	Ecoinvent 3.6	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro4 {RoW} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO4 Cut-off, U
Diesel	EURO5	RER	Vrachtwagen, Diesel, EURO5, RER	Ecoinvent 3.6	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Cut-off, U

Diesel	EURO5	RoW	Vrachtwagen, Diesel, EURO5, RoW	Ecoinvent 3.6	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RoW} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 Cut-off, U
Diesel	EURO6	RER	Vrachtwagen, Diesel, EURO6, RER	Ecoinvent 3.6	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro6 {RER} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 Cut-off, U
Diesel	EURO6	RoW	Vrachtwagen, Diesel, EURO6, RoW	Ecoinvent 3.6	Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro6 {RoW} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6 Cut-off, U
Diesel	Onbekend	GLO	Vrachtwagen, Diesel, Onbekend, GLO	Ecoinvent 3.6	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market group for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, U
Elektrisch	Grijs	NL	Vrachtwagen, Elektrisch, Grijs, NL	NMD 3.8	0513-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), elektrisch, Grijs mix, per tkm
Elektrisch	Groen	NL	Vrachtwagen, Elektrisch, Groen, NL	NMD 3.8	0514-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), elektrisch, Groene mix, per tkm
Waterstof	SMR - Groen	NL	Vrachtwagen, Waterstof, SMR - Groen, NL	NMD 3.8	0515-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), waterstof, Elektrolyse, grijze mix, per tkm
Waterstof	SMR - Grijs	NL	Vrachtwagen, Waterstof, SMR - Grijs, NL	NMD 3.8	0516-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), waterstof, Elektrolyse, groene mix, per tkm
Waterstof	Elektrolyse - Groen	NL	Vrachtwagen, Waterstof, Elektrolyse - Groen, NL	NMD 3.8	0517-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), waterstof, SMR, grijze mix, per tkm
Waterstof	Elektrolyse - Grijs	NL	Vrachtwagen, Waterstof, Elektrolyse - Grijs, NL	NMD 3.8	0518-tra&Transport, vrachtwagen (>32 ton), waterstof, SMR, groene mix, per tkm

In Tabel 5.3 is een overzicht weergegeven van alle opties die geselecteerd kunnen worden omtrent transport middels vrachttrein. Er is onderscheid gemaakt tussen een vrachttrein op diesel en elektriciteit. Wanneer de energiedrager onbekend is, kan er gekozen worden voor de optie "onbekend". Dit Ecoinvent proces is een gewogen gemiddelde van de energiedragers van vrachttreinen in Europa (44% diesel).

Tabel 5.3

Proceskeuze transport vrachttrein

Energiedrager	Geografie	Procesnaam calculatietool	Database	Proces
Diesel	RER	Vrachttrein, Diesel	NMD 3.8	0328-tra&Transport, vrachttrein, diesel (o.b.v. Transport, freight train {Europe without Switzerland} diesel Cut-off, U)
Elektrisch	RER	Vrachttrein, Elektrisch	NMD 3.8	0329-tra&Transport, vrachttrein, elektrisch (o.b.v. Transport, freight train {Europe without Switzerland} electricity Cut-off, U)
Onbekend	RER	Vrachttrein, Onbekend	NMD 3.8	0133-tra&Transport, vrachttrein (o.b.v. Transport, freight train {Europe without Switzerland} market for Cut-off, U)

In Tabel 5.4 is een overzicht weergegeven van de opties die geselecteerd kunnen worden omtrent transport middels vrachtschip. Daarbij is er onderscheid gemaakt tussen een binnenvaart schip en een zeevaartschip (bulkcarrier). Er is aangenomen dat het zout altijd vervoerd wordt middels een bulkcarrier, daarom is de optie zeevaartschip – zeecontainer niet opgenomen in het model. De gebruiker moet er rekening mee houden dat de milieulast significant hoger is bij dit transporttype.

Tabel 5.4

Proceskeuze transport vrachtschip

Type	Geografie	Procesnaam calculatietool	Database	Proces
Vrachtschip, Binnenvaart	GLO	Vrachtschip, Binnenvaart	NMD 3.8	0103-tra&Transport, vrachtschip, binnenvaart (o.b.v. Transport, freight, inland waterways, barge {GLO}) market group for transport, freight, inland waterways, barge Cut-off, U)
Zeevaart, Bulkcarrier	GLO	Vrachtschip, Zeevaart, Bulkcarrier	NMD 3.8	0404-tra&Transport, vrachtschip, bulk-droog, zee (o.b.v. Transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods {GLO}) market for transport, freight, sea, bulk carrier for dry goods Cut-off, U)

5.2 Gebruik calculatietool

5.2.1 Invoermodule

In Figuur 5.1 is een screenshot weergegeven van de invoermodule van de calculatietool. In de invoermodule kan een scenario voor de zoutwinning en het transport naar de opslaglocatie van Rijkswaterstaat opgebouwd worden, met behulp van de omschreven processen in de vorige sectie.

Om een volledig scenario op te bouwen, moeten de volgende keuzes gemaakt worden:

- **Hoeveelheid ingekocht (optioneel).** De hoeveelheid wegenzout die ingekocht zal worden kan hier ingevuld worden. De hoeveelheid staat standaard op 1 ton.
- **Zoutwinning: zouttype en herkomst (verplicht).** Het zouttype en land van herkomst moeten hier geselecteerd worden middels de opties in de keuzelijst. De berekening kan enkel uitgevoerd worden als in beide cellen een optie geselecteerd is.
- **Transport naar opslaglocatie: vrachtwagen (optioneel).** Het transport middels vrachtwagen kan hier gekwantificeerd worden. Het is mogelijk om tussen de één en drie verschillende vrachtwagentransporttypes te definiëren. Deze keuze kan gemaakt worden middels de keuzelijst in cel E11. Vervolgens kan er per vrachtwagentransporttype geselecteerd worden wat de energiedrager, emissieklasse/opwekking en toegepaste geografie is. De afgelegde afstand in km kan vervolgens handmatig ingevuld worden in rij 17.
- **Transport naar opslaglocatie: vrachtschip – bulkcarrier/binnenvaart (optioneel).** Het transport middels vrachtschip kan hier gekwantificeerd worden. De afgelegde afstand in km kan handmatig ingevuld worden in respectievelijk rijen 20 en 23.
- **Transport naar opslaglocatie: vrachttrein (optioneel).** Het transport middels vrachttrein kan hier gekwantificeerd worden. Allereerst dient de energiedrager geselecteerd te worden uit de keuzelijst. De afgelegde afstand in km kan vervolgens handmatig ingevuld worden in rij 27.

Let op: het merendeel van de keuzelijsten zijn gebaseerd op de keuzeselectie van de bovenliggende keuzelijst. Bij het aanpassen van een bovenliggende keuzelijstselectie, wordt de onderliggende keuze niet automatisch aangepast. Verwijder in dat geval de onderliggende keuzeselectie, en kies opnieuw uit de lijst. Werk dus altijd van boven naar beneden.

Figuur 5.1
Invoermodule calculatie tool

Wanneer de transportafstand en -modi onbekend zijn, kan gebruik gemaakt worden van de geïnventariseerde transportdata van de verschillende zouttypen door Rijkswaterstaat in de periode 2016-2023, weergegeven in Tabel 5.5.

Tabel 5.5
Gemiddelde transportafstanden en modi voor zouttypen en landen van herkomst

Zouttype	Afkomstig uit	Vrachtwagen (km)	Vrachtschip – bulkcarrier (km)	Vrachtschip – binnenvaart (km)
Zeezout	Tunesië/gewogen gemiddelde	200	4546	93
Steenzout	Marokko	41	2580	145
	Duitsland	4	0	358
	Egypte	176	6019	120
	Gewogen gemiddelde	72	2819	207
Vacuümzout	Duitsland	1	0	652
	Nederland	1	0	181
	Gewogen gemiddelde	1	0	589

5.2.2 Resultaten

Het totale milieuprofiel van het wegezout, zoals opgesteld middels de invoermodule, is weergegeven in het tabblad *Resultaten – totaal tabel*. In dit tabblad is tevens de totale MKI in een grafiek opgesplitst per fase (A1/A2) en per proces. Hierbij wordt enkel de transportfase (A2) verder opgesplitst per proces, voor de procesaandelen van de winningsfase (A1) kan gebruik gemaakt worden van de informatie in Sectie 4.3.3. In de tabbladen *Resultaten – winning* en *Resultaten – Transport* zijn de milieuprofielen van twee levensfasen apart weergegeven.

Bijlage I – Inventarisatie transport

Bijlage I – Inventarisatie transport.xlsx

Bijlage II – Rekenresultaten, zwaartepuntanalyse en gevoeligheidsanalyse

Bijlage II – Rekenresultaten, zwaartepuntanalyse en gevoeligheidsanalyse.xlsx

Bijlage III – Calculatietool

Bijlage III – Calculatietool.xlsx