

WP 3 – Activiteit 3.2: Milieu-impactrapport

Datum publicatie: 27/06/2022

Auteurs: Anne Adriaens (UGent), Inès Verleden (Inagro), Rahul Ravi (UGent)

Partners en co-financiers:



Inhoudsopgave

| | |
|--|----|
| Inhoudsopgave | 2 |
| 1. Inleiding..... | 4 |
| 2. Methode | 5 |
| 2.1. Milieu-impact..... | 5 |
| 2.1.1. Productanalyses | 5 |
| 2.1.2. Nitraatresidu's..... | 6 |
| 2.2. Koolstofvoetafdruk | 7 |
| 2.2.1. Systeemgrenzen | 7 |
| 2.2.2. Belangrijkste parameters voor de levenscyclusinventarisatie | 11 |
| 2.2.3. LCIA methode..... | 11 |
| 2.3. RENURE criteria..... | 11 |
| 3. Resultaten en discussie | 12 |
| 3.1. Milieu-impact..... | 12 |
| 3.1.1. Productanalyses | 12 |
| 3.1.2. Nitraatresidu's..... | 14 |
| 3.1.2.1. Gras | 14 |
| 3.1.2.2. Mais..... | 14 |
| 3.1.2.3. Groenten | 18 |
| 3.1. Koolstofvoetafdruk..... | 22 |
| 3.1.1. Resultaten voor midpoint indicatoren..... | 22 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.1.1.1. | Koolstofvoetafdruk – klimaatveranderingspotentieel..... | 23 |
| 3.1.1.2. | Landgebruik | 24 |
| 3.1.2. | Resultaten voor “endpoint” indicator | 26 |
| 3.2. | RENURE criteria..... | 28 |
| 3.2.1. | Criterium I..... | 28 |
| 3.2.2. | Criterium II..... | 28 |
| 3.2.3. | Criterium III..... | 28 |
| 3.2.4. | Criterium IV | 28 |
| 3.2.5. | Criterium V | 29 |
| 3.2.6. | Criterium VI | 29 |
| 4. | Conclusies | 30 |
| 5. | Referenties | 31 |
| 6. | Bijlages | 32 |

1. Inleiding

Vanuit de diverse initiatieven op Europees en nationaal niveau om de landbouw te verduurzamen en de kringlopen te sluiten, werden verschillende nieuwe mestvalorisatietechnieken voor hergebruik en terugwinning van nutriënten ontwikkeld in zowel Vlaanderen als Nederland. Enkele nutriëntenrecuperatietechnieken zijn de volgende: (a) ammoniak (NH_3) stripping-scrubbing om ammoniumnitraat (AN)/ammoniumsulfaat (AS) te produceren, (b) membraanfiltratie om mineralenconcentraat (MC) te produceren, en (c) verdampersystemen die al dan niet gecombineerd kunnen worden met membraanfiltratie om ingedampt MC te produceren (Tampio et al. 2016). Deze resulterende producten worden volgens de wettelijke definitie nog steeds geassocieerd als dierlijke mest, ondanks het feit dat ze een hoog aandeel minerale N bevatten ten opzichte van de totale N (Reuland et al. 2021). Het Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek (Joint Research Centre, JRC) van de Europese Unie heeft onlangs technische voorstellen uitgewerkt voor een veilig gebruik van uit dierlijke mest verkregen producten in nitraatgevoelige zones, en deze producten zijn geassocieerd als "RENURE" (recovered nitrogen from manure: herwonnen stikstof uit mest).

Binnen NITROMAN wordt er gewerkt op de doorontwikkeling van volgende beloftevolle technieken:

- stripping-scrubbing van de dunne fractie (DUF) van mest, waarbij de aanwezige stikstof wordt omgezet naar een ammoniumzout, dat als minerale meststof toegepast kan worden;
- membraanfiltratie, waarbij stikstof en/of kalium geconcentreerd worden tot een mineralenconcentraat, dat ook als minerale meststof toegediend kan worden.

Het werkingsprincipe van stripping-scrubbing houdt in dat het $\text{NH}_3:\text{NH}_4^+$ -evenwicht in vloeibare mest wordt verschoven naar gasvormig NH_3 . Dit gebeurt door de temperatuur of de pH of beide te verhogen. Het gestripte NH_3 wordt daarna in contact gebracht, of "gewassen", met een sterk zuur (HNO_3 of H_2SO_4). Er zijn vele configuraties voor stripping-scrubbing (Sigurnjak et al. 2019), maar in deze beoordeling richten we ons op een end-of-pipe-traject waarbij (vergist) mest eerst wordt gescheiden in dikke en dunne fracties, en vervolgens de DUF wordt gestript en gewassen.

Verdampersystemen zijn een andere reeds lang bestaande en een goed geteste technologie om de nutriënten uit DUF op te concentreren (MC) en om gezuiverd water uit DUF te destilleren (condensaat) (Vondra et al. 2018). Het werkingsprincipe van verdampersystemen is gebaseerd op vacuümverdamping, waarbij DUF onder negatieve druk wordt gekookt. Door de drukval wordt het kookpunt verlaagd (50-60 °C). Het voordeel van het gebruik van verdampersystemen is dat het volume DUF wordt verminderd, waardoor de transportkosten dalen. Gewoonlijk worden verdampersystemen geïntegreerd met voorafgaande membraanfiltratiesystemen zoals omgekeerde osmose (RO) om N en K verder op te concentreren.

Om te onderzoeken of deze meststoffen kunnen dienen als kunstmestvervanger, is het niet alleen belangrijk om de bemestingsefficiëntie te vergelijken, maar ook de impact er van op het milieu te bekijken. Gebruik van deze meststoffen mag immers geen extra risico's meebrengen naar het milieu toe.

Daarom wordt de impact op het milieu van de producten die volgen uit de innovatieve technieken voor nutriëntenrecuperatie uit mest nagegaan. Dit onderzoek bestaat uit het nagaan van nitraatuitspoeling en de aanwezigheid van zware metalen.

Bovendien wordt ook rekening gehouden met de koolstofvoetafdruk: gekoppelde emissies, verbruik van fossiele brandstoffen, transport, ... De onderzochte technieken (stripping-scrubbing, membraantechnologie en effluentpolijsting) worden vergeleken met de conventionele bemesting, huidige mestverwerkingstechnieken (nitrificatie-denitrificatie: NDN) en afzetspistes (uitrijden onbehandelde mest).

Daarnaast wordt ook bekeken of de meststoffen op vlak van deze milieu-impactcriteria voldoen aan de RENURE-criteria die werden opgesteld binnen de Europese SafeManure studie (Huygens D. et al. 2020). RENURE staat voor "REcovered Nitrogen from manURE", met andere woorden stikstof gerecupereerd uit mest en wordt gedefinieerd als alle stikstofbevattende substanties die volledig of gedeeltelijk afkomstig zijn van dierlijke mest door bewerking. Deze substanties kunnen worden gebruikt in nitraatgevoelige zones volgens identieke bepalingen die worden toegepast op stikstofhoudende chemische meststoffen als gedefinieerd in de nitraatrichtlijn (91/676/EEG), waarbij ervoor wordt gezorgd dat de doelstellingen van de nitraatrichtlijn worden verwezenlijkt en dat de agronomische voordelen toereikend zijn om de plantengroei te bevorderen.

2. Methode

2.1. Milieu-impact

2.1.1. Productanalyses

De producten; ammoniumnitraat, ammoniumsulfaat, ammoniumcarbonaat, mineralenconcentraat en ingedampt mineralenconcentraat, werden geanalyseerd op de parameters aangegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Overzicht van de verschillende analysemethodes van de geanalyseerde parameters van de verschillende producten.

| Parameter | Analysemethode (Ecochem) | Analysemethode (extern) |
|-------------------------|----------------------------|---|
| Nutriënteninhoud | | |
| C _{tot} | CN analyser – Dumas method | |
| N _{tot} | CN analyser – Dumas method | MEST-OVB + CFA8 cf AP05 of BAM deel 3/06 + meting met continuous flow; ISO 13395; BAM deel 3/05 |
| NH ₃ | IC | MEST-OVB + CFA8 cf AP05 of meting met continuous flow; ISO 11732, ISO 13395; BAM deel 3/05 |
| NO ₃ | IC | MEST-OVB + CFA8 cf AP05 of meting met continuous flow; ISO 11732, ISO 13395; BAM deel 3/05 |

| | | |
|---|-------------------|--|
| P | ICP-OES of ICP-MC | MEST-OVB + CFA8 cf AP05 of ICP |
| K | ICP-OES of ICP-MC | Eigen methode: CFA8 of ICP |
| S | ICP-OES of ICP-MC | |
| Spoorelementen en zware metalen | | |
| Ca | ICP-OES of ICP-MC | ICP |
| Na | ICP-OES of ICP-MC | Eigen methode: CFA8 of ICP |
| Mg | | Eigen methode: CFA8 |
| Al | ICP-OES of ICP-MC | |
| Fe | ICP-OES of ICP-MC | |
| Mn | ICP-OES of ICP-MC | |
| Cd | ICP-OES of ICP-MC | Eigen methode |
| Co | ICP-OES of ICP-MC | |
| Cr | ICP-OES of ICP-MC | Eigen methode |
| Cu | ICP-OES of ICP-MC | Eigen methode |
| Hg | ICP-OES of ICP-MC | Eigen methode |
| Ni | ICP-OES of ICP-MC | Eigen methode |
| Pb | ICP-OES of ICP-MC | Eigen methode |
| Zn | ICP-OES of ICP-MC | Eigen methode |
| As | ICP-OES of ICP-MC | Eigen methode |
| Overige | | |
| DS | | Eigen methode: VAS3 of NEN 7432; BAM deel 3/03 |
| OS | | Afgeleide waarde of NEN 7432; BAM deel 3/03 |
| Waarbij IC: ionenchromatografie; ICP-OES (Inductive Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry) en ICP-MS (Inductively coupled plasma - mass spectrometry). Daarbij start men met ICP-OES en schakelt men bij te lage concentraties over naar ICP-MS. | | |

2.1.2. Nitraatresidu's

Daarnaast worden bij de veldproeven ook bodemstalen geanalyseerd om zo het nitraatresidu van de verschillende bemestingsobjecten te bepalen. Het nitraatresidu wordt bepaald als controle op de N-huishouding, in het kader van derogatie-aanvragen of voor opvolging van overschrijdingen in het voorgaande jaar. Het nitraatresidu geldt daarbij als indicator voor de impact van bemesting op stikstofverliezen uit de landbouwbodem richting grond- en oppervlaktewater. Het wordt bepaald als de hoeveelheid nitraat-N ($\text{NO}_3\text{-N}$) die jaarlijks in de periode van 1 oktober tot 15 november in het bodemprofiel (0-90 cm) aanwezig is. Het gewogen gemiddelde nitraatresidu van een landbouwbedrijf wordt daarbij getoetst aan twee drempelwaarden, waarbij het resultaat van de beoordeling bepalend is voor de frequentie van opvolging van het nitraatresidu, voor de verplichting tot het bijhouden van een bemestingsplan en teeltfiches en voor de beslissing over eventuele vrijstellingen. Er zijn verschillende drempelwaarden in functie van de teelt en het bodem- en gebiedstype. Gedetailleerde info kan [hier](#) teruggevonden worden.

Binnen Nitroman werden in verschillende teelten nitraatresidu's geanalyseerd: in gras, mais en verschillende groenteteelten (spinazie-selder en bloemkool).

2.2. Koolstofvoetafdruk

In deze studie wordt gebruik gemaakt van primaire gegevens van installaties die DUF verwerken. Deze installaties zijn technieken in opkomst, wat betekent dat de technologie vrijwel volledig op punt staat, maar er nog maar enkele installaties volledig operationeel zijn. De levenscyclusanalyse werd dus uitgevoerd op een eerder beperkte dataset. Het doel van deze levenscyclusanalyse is om:

- i. de wisselwerking tussen de bovengenoemde technologieën voor de behandeling van DUF vast te stellen en de prestaties ten opzichte van het referentiescenario (NDN) te meten;
- ii. en de milieueffecten van deze DUF-behandelingstechnieken te regionaliseren.

2.2.1. Systeemgrenzen

Hier beschouwen we één ton DUF van mest als de functionele eenheid. De voorafgaande stap, d.w.z. de mestscheiding, is uit het systeem weggelaten, aangezien een centrifuge de gemeenschappelijke scheidingstechniek is voor alle drie de scenario's (Figuur 1, Figuur 2 en Figuur 3). De geografische reikwijdte is vastgesteld op België en Nederland en er werd gekozen voor een benadering waarbij de gevolgen van een beslissing ook mee in rekening worden genomen, d.i. de "consequential approach".

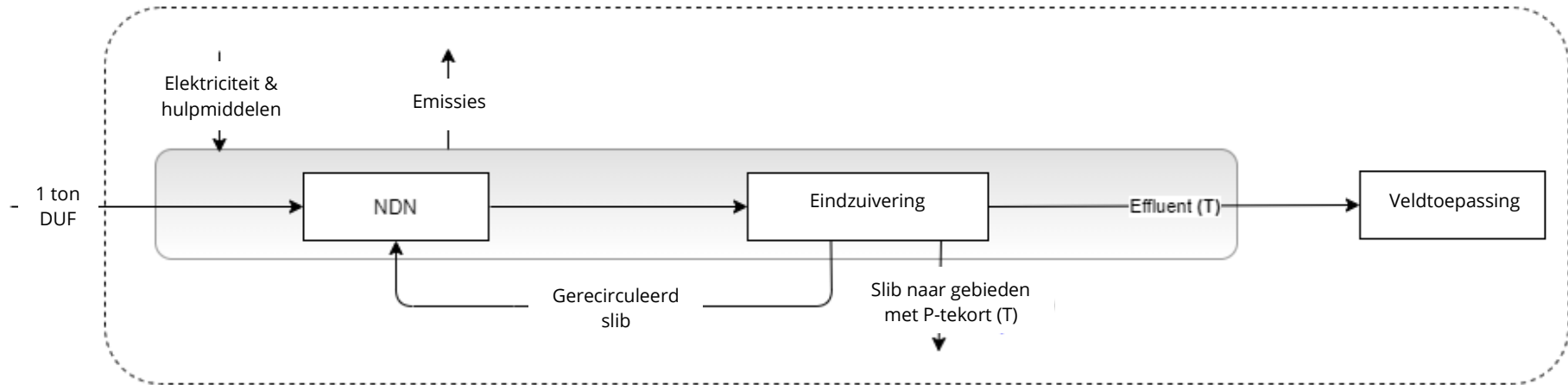
Het "**business as usual**"-scenario (**S1**) vertegenwoordigt de behandeling van DUF in ongeveer 60% van de mestverwerkingsinstallaties in Vlaanderen. De mest ondergaat een vaste-vloeistof scheiding waarna de DUF wordt gestabiliseerd via een aeroob behandelingsysteem (NDN). Het effluent van het NDN-systeem voldoet niet aan de lozingseisen en daarom wordt het gewoonlijk uitgereden op de nabijgelegen akkers. Het overblijvende slib wordt afgevoerd naar gebieden met een tekort aan P.

In **scenario S2** wordt de NH_3 in de DUF "**gestript en gewassen**". Het gestripte NH_3 wordt in contact gebracht, of "gewassen", met HNO_3 . Het ammoniumnitraat dat daarbij vrijkomt, wordt beschouwd als een minerale kunstmestvervanger en wordt op het veld gebruikt in gebieden zonder nutriëntenoverschot. Het gestripte residu wordt vervolgens naar een NDN-systeem gepompt, gevolgd door tertiaire behandeling in een helofytenfilter, ook rietveld genoemd. Na behandeling voldoet het effluent aan de lozingsnormen (250 mg/l COD, 25 mg/l BOD, 35 mg/l gesuspendeerde vaste stoffen, 15mg/l N en 1mg/l P) en wordt het in oppervlaktewater geloosd.

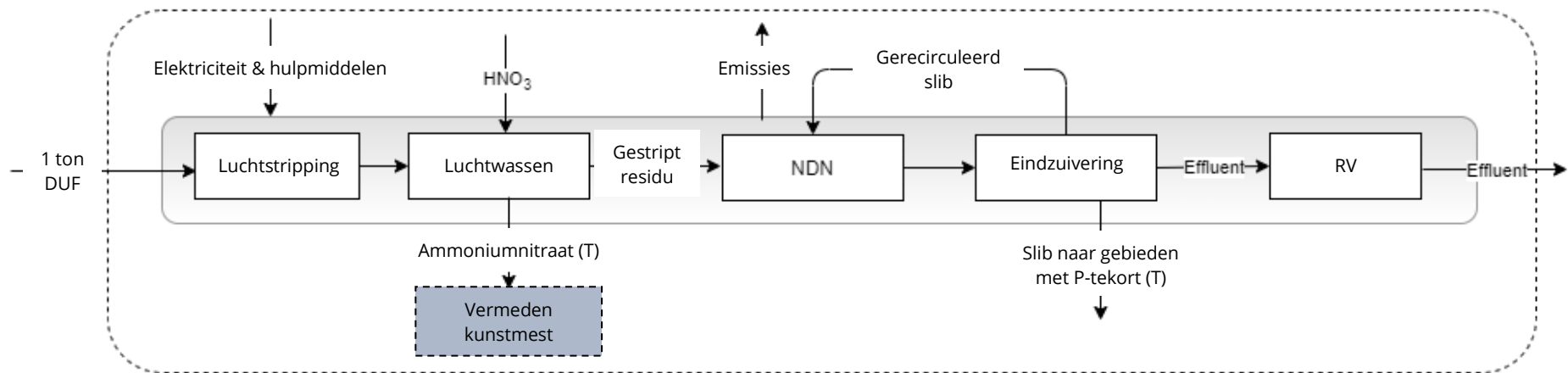
Scenario S3 omvat een andere configuratie voor de verwerking van DUF. Hier wordt een combinatie van **microfiltratie en RO + verdampersysteem** gebruikt om het DUF te concentreren. De opstelling heeft twee configuraties - (S3a) Concentraat uit RO en (S3b) Concentraat uit RO + verdampersysteem. Het mineralenconcentraat wordt beschouwd als een nuttige meststof, terwijl het permeaat uit de RO als zuiver water wordt geloosd. Het filtraat uit de microfiltratie-eenheid wordt afgevoerd naar regio's zonder nutriëntenoverschot, zonder dat de bemestende waarde mee in rekening werd gebracht.

In alle scenario's is rekening gehouden met de effecten van de infrastructuur (machines, constructie, enz.). De levensduur van de infrastructuur in het NDN-systeem is 40 jaar, terwijl deze in de andere scenario's varieert tussen 5 en 15 jaar.

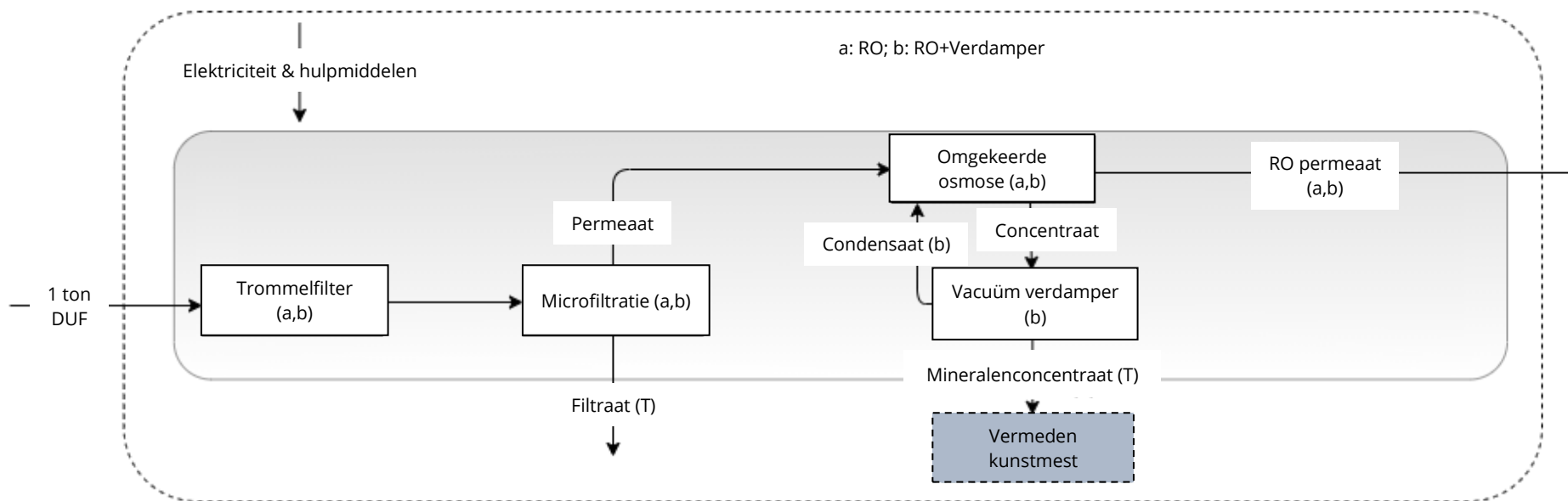
SYSTEEMGRENZEN VOOR DUF-BEHANDELING VAN DRIE SCENARIO'S. HET VAK MET DE GRIJZE ACHTERGROND STELT DE BEWERKINGSINSTALLATIE VOOR EN (T) HET TRANSPORT. **NDN**: NITRIFICATIE-DENITRIFICATIE, **RO**: OMGEKEERDE OSMOSE, **RV**: AANGELEGDE RIETVELDEN.



Figuur 1: Scenario 1 – "Business as usual" (NDN).



Figuur 2: Scenario 2 – Stripping-scrubbing + NDN + rietvelden (RV).



Figuur 3: Scenario 3 – RO (+ Verdamper).

2.2.2. Belangrijkste parameters voor de levenscyclusinventarisatie

De kenmerken van het influent DUF (voor 1 ton) zijn samengevat in Tabel 2. De levenscyclusinventarisatie voor S1 en S2 is opgesteld aan de hand van massa- en energiestromen die beschikbaar zijn van de IVACO-installatie in Gistel. Voor S3 zijn de gegevens verkregen van Strocon. Een gedetailleerde inventarisatie en de massa- en energiestromen voor elk scenario zijn op verzoek verkrijgbaar. Er werd gekozen voor de PEF LCIA-methode en de effecten zijn zowel voor midpoint als endpoint indicatoren gekwantificeerd.

Tabel 2: Kenmerken van de vloeibare fractie (DUF). De functionele eenheid is 1 ton DUF.

| Parameter | Eenheid | Waarde |
|---|---------|--------------|
| Droge stof (DS) | % | 3,61 ± 0,05 |
| Totale stikstof (N) | kg | 4,34 ± 0,13 |
| NH₄-N | kg | 2,86 ± 0,09 |
| NO₃-N | kg | 0,06 ± 0,003 |
| Totale fosfor (P) | kg | 0,42 ± 0,003 |
| Biochemisch zuurstofverbruik (BOD) | kg | 4,58 ± 0,19 |
| Chemisch zuurstofverbruik (COD) | kg | 34,03 ± 0,82 |
| Totale kalium (K) | kg | 4,1 |

2.2.3. LCIA methode

De effecten zijn gekwantificeerd met behulp van de milieuvoetafdrukmethode (EC 2021). Daarbij worden zowel de midpoint als de endpoint indicatoren gepresenteerd. Om de resultaten als eindpunt of als indicator met één score uit te drukken, werden de resultaten op midpoint level genormaliseerd en gewogen. Meer informatie over de normalisatie- en wegingsfactoren is te vinden in de bijlages (Tabel S1 en Figuur S1).

2.3. RENURE criteria

De verschillende RENURE criteria waaraan de producten worden onderworpen zijn de volgende (Huygens D. et al. 2020):

- I. RENURE wordt verkregen door een proces waarbij de bewerkingsketen een fysische, chemische of biologische processtap voor de behandeling van mest omvat, anders dan uitsluitend mixen, bijmengen, drogen, opnieuw bevochtigen, granuleren en/of opslaan, waardoor de concentratie van minerale N, ureum-N en/of kristalgebonden N (in % van de totale N) wordt verhoogd ten opzichte van het/de ingezette materiaal(en). Daarbij ontstaat een product met een constante kwaliteit dat aan alle andere criteria voldoet.
- II. RENURE-materialen hebben een minerale N:TN-verhouding $\geq 90\%$ of een TOC:TN-verhouding ≤ 3 . Indien RENURE ook producten of bijproducten bevatten die niet afkomstig zijn van mest, moet bij de berekening van de minerale N:TN verhouding voor de N afkomstig van die (bij)producten worden gecorrigeerd wanneer deze $>3\%$ N op droge stofbasis bevatten.
- III. Bij RENURE-materialen worden de volgende grenswaarden niet overschreden:
 - a. Cu: 300 mg kg⁻¹ droge stof;
 - b. Zn: 800 mg kg⁻¹ droge stof.
- IV. De lidstaten moeten erop toezien dat het tijdstip en de dosering van RENURE en andere meststoffen worden afgestemd op de NPK-behoefte van de planten, teneinde uitspoeling en

- verlies door afspoeling van nutriënten zoveel mogelijk te beperken. Overeenkomstig de toepassing van goede landbouw- en milieupraktijken houdt dit met name in:
- a. de specificatie van informatie over het gehalte aan N, P₂O₅, en K₂O in de RENURE-materialen voor elk van deze elementen waarvan de concentratie meer dan 1% van de droge stof bedraagt, met een maximale afwijking van 25% van de werkelijke waarde, teneinde de nutriëntenbegroting van het veld te bewaken en te registreren;
 - b. tenzij dit geen meerwaarde heeft, de instandhouding van een levend plantendek op het land gedurende een zo groot mogelijk deel van het jaar of gelijkwaardige maatregelen.
- V. De lidstaten dienen NH₃-emissies tijdens het op- of aanbrengen van RENURE op het veld te voorkomen en tot een minimum te beperken (door injectie, onmiddellijke inwerking van aan de oppervlakte gebracht materiaal of gelijkwaardige maatregelen), met name voor RENURE N-meststoffen die
- a. > 60% van de aanwezige N in andere N-vormen dan NO₃-N bevatten, en
 - b. een pH_{H₂O} > 5,5 hebben.
- VI. De lidstaten moeten emissies in de lucht ten gevolge van opslag voorkomen en tot een minimum beperken door passende opslagvoorwaarden voor RENURE te handhaven.

3. Resultaten en discussie

3.1. Milieu-impact

3.1.1. Productanalyses

In Tabel 3 en Tabel 4 worden de resultaten weergegeven van de analyses uitgevoerd op de meststof. De analysemethodes zijn terug te vinden in Tabel 1.

De pH (Tabel 3) is duidelijk hoger in ammoniumcarbonaat. Dit had dan ook een duidelijke invloed op de gewasopbrengsten (zie rapport veldproefresultaten). De pH van spuiwater is het laagste van alle herwonnen meststoffen. Bij toepassing van dit product moet daarom maatregelen worden getroffen om verbranding te voorkomen.

De stikstof (Tabel 3) in de ammoniumzouten is hoger dan in het mineralenconcentraat en ammoniumsulfaat bevat naast N ook zwavel (S). Het kaliumgehalte is dan weer hoger in het mineralenconcentraat, evenals het koolstofgehalte en het organische stofgehalte.

Geen van de waardes van zware metalen (Tabel 4) zijn dermate hoog dat zij een risico voor het milieu zouden kunnen vormen, hoewel sommige metaalconcentraties in ammoniumsulfaat hoger zijn dan de rest. Volgens de producent van het product zou dit te wijten kunnen zijn aan het zwavelzuur dat voor de productie van het ammoniumsulfaat wordt gebruikt. Afhankelijk van de gekochte partij zuur of van het bedrijf, kunnen zware metalen in het zuur aanwezig zijn. Aangezien het zuur in de laatste processtap wordt gebruikt, worden deze metalen niet uit het proces verwijderd. Het is dus belangrijk de zware metalen in het zwavelzuur op te volgen.

Tabel 3: Gemiddelde analyseresultaten van verschillende parameters van de gebruikte herwonnen meststoffen over drie jaar veldproeven.

| | pH | EC (mS/cm) | Dichtheid (kg/l) | DS (g/kg) | OS (g/kg) | C _{tot} (g/kg) | Macronutriënten (g/kg VM) | | | | | Micronutriënten (g/kg VM) | | | |
|--|-------|---------------|---------------------|--------------|--------------|----------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------|------|------|------------------------------|------|------|------|
| | | | | | | | N _{tot} | NH ₄ | NO ₃ | P | K | S | Ca | Mg | Na |
| Ammoniumnitraat | 6,55 | 292,30 | 1,11 | 26,71 | | 2,03 | 88,93 | 43,20 | 39,33 | 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,07 | d.l. | 2,38 |
| Ammoniumcarbonaat | 10,37 | 134,60 | | 0,01 | | 0,38 | | | 0,00 | d.l. | 0,01 | 0,28 | | | |
| Ammoniumsulfaat (van stripping-scrubbing) | 5,32 | 244,94 | 1,16 | | | 4,30 | 60,20 | 62,65 | 0,18 | 0,02 | 0,11 | 74,66 | 0,29 | 0,14 | 3,32 |
| Spuiwater | 3,50 | | | 420,00 | 420,00 | 1,09 | 71,03 | 74,00 | | | | 72 | 0,08 | | |
| Mineralenconcentraat | 7,76 | 60,96 | 1,03 | 31,00 | 6,63 | 12,26 | 7,52 | 6,98 | 0,13 | 0,16 | 7,70 | 1,18 | 0,21 | 0,25 | 2,51 |

d.l. = onder detectielimiet

Tabel 4: Gemiddelde analyseresultaten van verschillende parameters van de gebruikte herwonnen meststoffen over drie jaar veldproeven (vervolg).

| | Zware metalen (ppm) | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | Al | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | Mn | Ni | Pb | Zn | Hg | As |
| Ammoniumnitraat | 1,29 | d.l. | d.l. | 0,12 | 0,36 | 0,58 | 0,43 | 0,22 | d.l. | 0,69 | 0,09 | d.l. |
| Ammoniumcarbonaat | | d.l. | | d.l. | d.l. | | | 0,06 | d.l. | d.l. | 0,10 | d.l. |
| Ammoniumsulfaat (van stripping-scrubbing) | 1,63 | d.l. | 0,10 | 2,05 | 0,31 | 58,67 | 7,98 | 4,60 | 0,05 | 1,92 | d.l. | d.l. |
| Spuiwater | | | | | 29 | | | | | | | d.l. |
| Mineralenconcentraat | 3,37 | d.l. | 0,02 | 0,29 | 0,37 | 2,83 | 0,61 | 0,37 | d.l. | 1,86 | | d.l. |

d.l. = onder detectielimiet

3.1.2. Nitraatresidu's

3.1.2.1. Gras

Deze proefvelden werden aangelegd bij Hooibeekhoeve en zijn gelegen op zandgrond in gebiedstype 0. Voor gras gelden daarom volgende drempelwaarden: drempelwaarde 1: 80 kg N/ha en drempelwaarde 2: 200 kg N/ha.

Het seizoen van 2020 werd gekenmerkt door extreme droogte, terwijl 2021 een zeer nat jaar was. Dit weersverschil kan een reden zijn van de iets hogere nitraatresidu's in 2020 t.o.v. 2021. Het korrelvormige KAS werd door de droogte vermoedelijk minder goed opgenomen, wat de hogere residu's in 2020 op die veldjes kan verklaren. Toch lijkt het effect van de droogte bij de grasbeemden beperkt. Alle nitraatresidu's liggen uiteindelijk ruim onder de drempelwaarden.

Tabel 5: Gras – gemiddelde nitraatresidu's van vier metingen – veldproeven 2020 en 2021. RDM = runderdrijfmest, KAS = kalkammonsalpeter.

| Jaar | Bemestingstype | Bemestingsdosis (kg N/ha) | Nitraatresidu van het perceel (kg N/ha) | | |
|------|----------------------------|---------------------------|---|---------|---------|
| | | | 0 - 30 | 30 - 60 | 0 - 60 |
| 2020 | Nulbemesting | 0 | 15 ± 4 | 10 ± 4 | 25 ± 7 |
| | RDM | 250 | 17 ± 8 | 14 ± 10 | 30 ± 12 |
| | RDM + KAS | 475 | 24 ± 7 | 32 ± 5 | 56 ± 10 |
| | RDM + Ammoniumnitraat | 475 | 17 ± 9 | 21 ± 23 | 38 ± 31 |
| | RDM + Ammoniumsulfaat | 475 | 15 ± 4 | 20 ± 2 | 35 ± 5 |
| 2021 | Nulbemesting | 0 | 12 ± 3 | 7 ± 1 | 19 ± 3 |
| | RDM | 250 | 16 ± 7 | 9 ± 1 | 25 ± 8 |
| | RDM + KAS | 475 | 12 ± 4 | 8 ± 3 | 20 ± 7 |
| | RDM + Ammoniumnitraat | 475 | 10 ± 5 | 8 ± 1 | 18 ± 5 |
| | RDM + Ammoniumsulfaat | 475 | 16 ± 2 | 10 ± 3 | 25 ± 5 |
| | RDM + Mineralenconcentraat | 475 | 13 ± 3 | 7 ± 1 | 20 ± 3 |

3.1.2.2. Mais

Zowel bij Hooibeekhoeve als bij PVL Bocholt werden er veldtesten met mais aangelegd. De proefvelden zijn op beide locaties zandgronden gelegen in respectievelijk gebiedstype 0 en 1. Voor beide gebieden geldt: drempelwaarde 1: 80 kg N/ha; drempelwaarde 2: 160 kg N/ha.

Tabel 7 geeft een overzicht van de gemeten nitraatresidu's bij beide praktijkcentra. Bij PVL Bocholt werd slechts een diepte van 60 cm bemonsterd, aangezien er daaronder een ondoordringbare laag zit. Overschrijdingen van de drempelwaarden worden in **rood** weergegeven.

Het seizoen 2020 werd gekenmerkt door extreme droogte. Door de aanhoudende droogte tijdens de lente en zomer was de maisoogst mislukt. De droogte was als groeifactor dermate overheersend dat er in gewasopbrengst bij PVL Bocholt geen verschil kon worden vastgesteld tussen het onbemeste en de bemeste objecten. Hierover kan u meer lezen in het rapport over de veldproeven van Nitroman.

Bij Hooibeekhoeve vertonen alle objecten in 2020, behalve het ammoniumnitraat, een overschrijding van drempelwaarde 1, ook de nulbemesting (Tabel 7). Er lijkt weinig verschil tussen de verschillende objecten. Het hoge residu kan hoogstwaarschijnlijk verklaard worden door de beperkte groei en dus beperkte stikstofopname door het gewas.

Bij PVL Bocholt is er duidelijk een hoger nitraatresidu bij bemesting en bijbemesting in vergelijking met de nulbemesting. Op uitzondering van het object RDM + KAS na, liggen alle nitraatresidu's wel duidelijk onder de drempelwaarden. Aangezien KAS de enige meststof is die niet vloeibaar is en 2020 een extreem droog jaar was, zijn deze hoge nitraatresidu's te verklaren door de extreme droogte: na bemesten is er zo weinig neerslag gevallen dat de meststof onvoldoende kon worden opgelost en opgenomen. Tussen de verschillende KAS objecten zit er vrij veel verschil (Tabel 6 en Figuur 4).

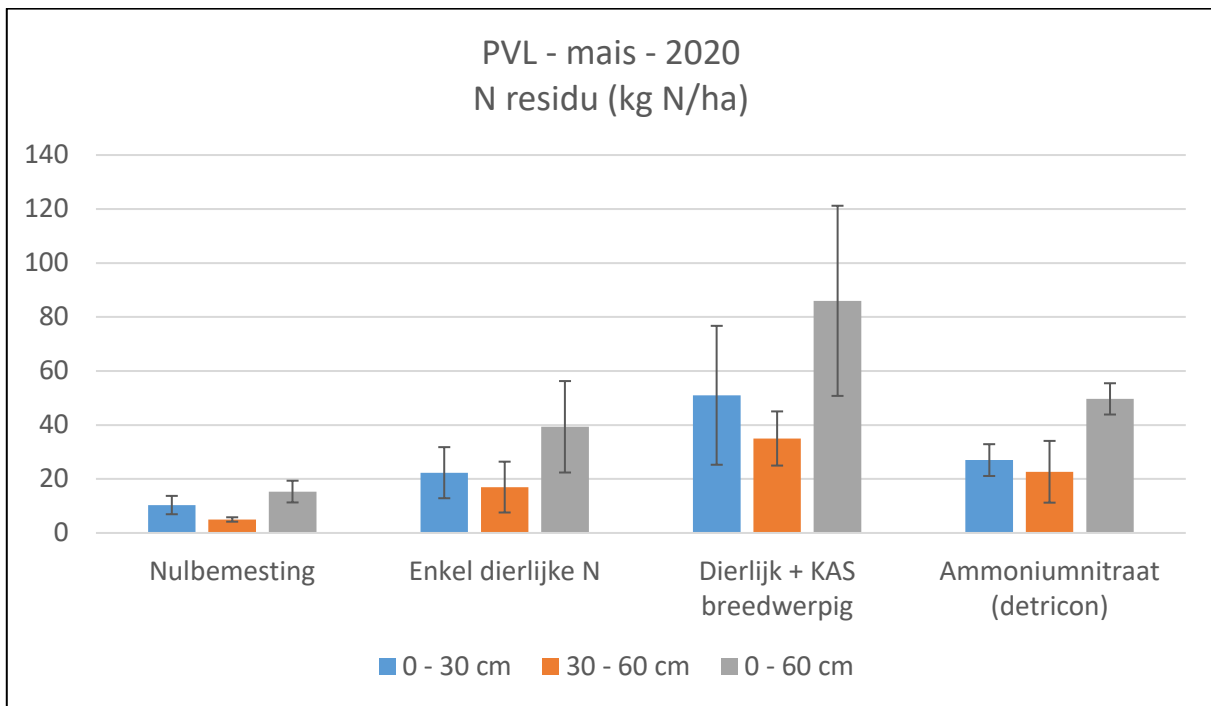
Het voorjaar van het seizoen 2021 was vrij nat. Zowel bij Hooibeekhoeve als bij PVL Bocholt bleven alle nitraatresidu's ruim onder de drempelwaarden. Het residu werd enkel gemeten tot op een diepte van 60 cm, maar gelet op de lage waarden was een analyse van de laag 60-90 weinig zinvol. Tussen de verschillende objecten is er noch bij Hooibeekhoeve, noch bij PVL Bocholt (ANOVA ($F(4,14) = 1,438$; $p = 0,270$)) een significant verschil (Tabel 7 en Figuur 5). Vrijwel alle nitraat werd dit seizoen dus wel opgenomen uit de bodem, in tegenstelling tot in 2020.

Tabel 6: Nitraatresidu's proefveldjes RDM + KAS (2020).

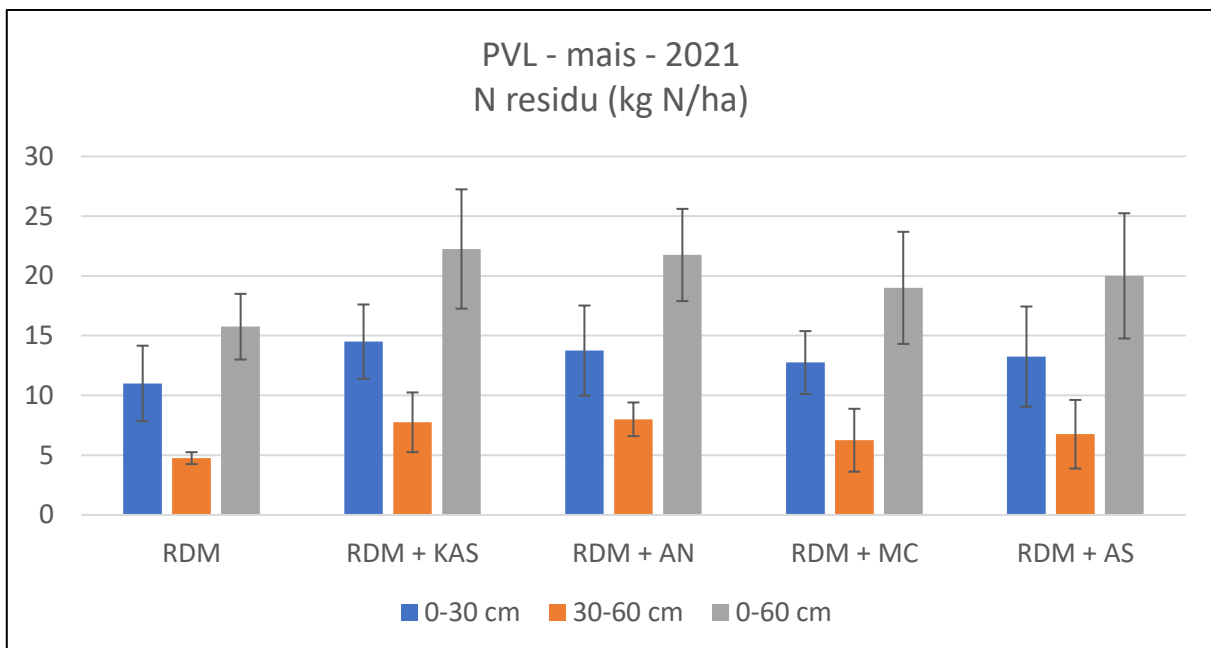
| | 0 - 30 | 30 - 60 | 0 - 60 |
|---------------|---------------|----------------|---------------|
| Plot 1 | 20 | 21 | 41 |
| Plot 2 | 50 | 40 | 90 |
| Plot 3 | 83 | 44 | 127 |

Tabel 7: Resultaten maisteelt bij Hooibeekehoeve en PVL Bocholt – nitraatresidu's – 2020 en 2021. Getallen in het rood geven overschrijdingen van de drempelwaarden (80 en 160 kg N/ha) aan.

| Jaar | Bemestingstype | Bemestingsdosis (kg N/ha) | Nitraatresidu van het perceel (kg N/ha) | | | |
|--|-------------------------------|---------------------------|---|-------------|--------------|--------|
| | | | 0 - 30 | 30 - 60 | 60 - 90 | 0 - 90 |
| HOOIBEEKHOEVE - Nitraatresidu is het resultaat van bodemanalyse op één proefplotje. | | | | | | |
| 2020 | Nulbemesting | 0 | 25 | 36 | 35 | 96 |
| | RDM | 170 | 21 | 43 | 44 | 108 |
| | RDM + KAS (kalkammonsalpeter) | 205 | 24 | 44 | 33 | 101 |
| | RDM + Ammoniumnitraat | 205 | 20 | 25 | 27 | 72 |
| | RDM + Ammoniumsulfaat | 205 | 31 | 48 | 35 | 112 |
| 2021 | RDM | 170 | 9 | 6 | - | 15 |
| | RDM + KAS (kalkammonsalpeter) | 205 | 12 | 5 | - | 17 |
| | RDM + Ammoniumnitraat | 205 | 12 | 5 | - | 17 |
| | RDM + Ammoniumsulfaat | 205 | 5 | 3 | - | 8 |
| | RDM + Mineralenconcentraat | 205 | 13 | 6 | - | 19 |
| PVL BOCHOLT - Alle proefplotjes werden bemonsterd en nitraatresidu's zijn gemiddelden | | | | | | |
| Jaar | Bemestingstype | Bemestingsdosis (kg N/ha) | 0 - 30 | 30 - 60 | 0 - 60 | |
| 2020 | Nulbemesting | 0 | 10 ± 3 | 5 ± 1 | 15 ± 4 | |
| | RDM | 170 | 22 ± 9 | 17 ± 9 | 39 ± 17 | |
| | RDM + KAS | 204 | 51 ± 26 | 35 ± 10 | 86 ± 35 | |
| | RDM + Ammoniumnitraat | 204 | 27 ± 6 | 23 ± 11 | 50 ± 6 | |
| 2021 | RDM | 170 | 11,00 ± 3,16 | 4,75 ± 0,50 | 15,75 ± 2,75 | |
| | RDM + KAS | 204 | 14,50 ± 3,11 | 7,75 ± 2,50 | 22,25 ± 4,99 | |
| | RDM + Ammoniumnitraat | 204 | 13,75 ± 3,77 | 8,00 ± 1,41 | 21,75 ± 3,86 | |
| | RDM + Ammoniumsulfaat | 204 | 13,25 ± 4,19 | 6,75 ± 2,87 | 20 ± 5,24 | |
| | RDM + Mineralenconcentraat | 204 | 12,75 ± 2,63 | 6,25 ± 2,63 | 19,00 ± 4,69 | |



Figuur 4: Nitraatresidu na maisteelt 2020 (PVL).



Figuur 5: Nitraatresidu na maisteelt 2021 (PVL).

3.1.2.3. Groenten

SPINAZIE GEVOLGD DOOR SELDER

In het proefstation voor de groententeelt in Sint-Katelijne-Waver werden de meststoffen uitgetest in de groententeelt. De proefvelden liggen in gebiedstype 1, zand.

In 2020 werd een vroege teelt spinazie aangelegd. Voor het planten werd een bodemanalyse uitgevoerd waaruit bleek dat er in de 0-30 cm 21 kg/ha N_{\min} aanwezig was en in de 30-60 cm 19 kg/ha N_{\min} . Alle objecten, behalve het object nulbemesting, werden aldus bemest met 145 kg N/ha. Bij een aantal objecten werd ook de nitrificatieremmer dimethylpyrazolfosfaat (DMPP) toegevoegd. DMPP remt de omzetting van NH_4 naar NO_3 waardoor NH_4 langer beschikbaar blijft voor opname door de planten.

Aangezien deze vroege teelt nog werd gevolgd door een tweede teelt (selder) die de residuele N in de bodem kan benutten, wordt hier niet getoetst aan de drempelwaarden. Er kunnen evenwel een aantal interessante conclusies getrokken worden:

- De nitraathoudende meststoffen KAS en ammoniumnitraat geven de hoogste nitraatwaarden
- De nitrificatieremmer DMPP leidt tot lagere nitraatwaarden

Na het oogsten van de spinazie, werd de bodem gefreesd en werd opnieuw een bodemanalyse uitgevoerd. Deze analyse gaf een min of meer gelijke bodemvoorraad in de 0-60 cm laag van ongeveer 220 kg N_{\min} met uitzondering van de onbemeste plots. De selderproef werd aangelegd zonder bijkomende bemesting.

Na de oogst werden op alle proefvelden nitraatresidu's ruim onder de drempelwaarden (90 en 200 kg N/ha) gemeten. Er waren ook geen verschillen tussen de verschillende objecten.

Tabel 8: Nitraatresidu bij oogst spinazie (genomen 02/06/2020). DMPP = dimethylpyrazolfosfaat.

| Bemestingstype | Toedieningswijze | Bemestingsdosis (kg N/ha) | Nitraatresidu van het perceel (kg N/ha) | | | |
|--|------------------|---------------------------|---|---------|----------|-----|
| | | | 0 - 30 | 30 - 60 | 60 - 90 | |
| Nulbemesting | | 0 | 30 ± 16 | 26 ± 5 | 57 ± 18 | ac |
| KAS | Breedwerpig | 145 | 147 ± 55 | 61 ± 29 | 208 ± 58 | b |
| Ammoniumnitraat | Rijenbemesting | 145 | 147 ± 22 | 68 ± 17 | 215 ± 16 | b |
| Ammoniumnitraat + DMPP | Rijenbemesting | 145 | 113 ± 16 | 60 ± 17 | 173 ± 30 | bc |
| Ammoniumsulfaat + DMPP | Rijenbemesting | 145 | 65 ± 22 | 47 ± 23 | 112 ± 36 | ac |
| UreaN (Ureum en ammoniumnitraat) | Rijenbemesting | 145 | 102 ± 27 | 84 ± 58 | 186 ± 50 | bc |
| UreaN + DMPP | Rijenbemesting | 145 | 75 ± 15 | 42 ± 20 | 118 ± 31 | ab |
| Novatec Solub (ammoniumsulfaat + DMPP) | Rijenbemesting | 145 | 86 ± 27 | 50 ± 23 | 137 ± 48 | abc |

Gemiddelden gevolgd door eenzelfde letter zijn niet significant verschillend (Duncan, $p=0,05$).

Tabel 9: Minerale N voor en nitraatresidu's na (genomen 12/10/2020) de selderteelt. DMPP = dimethylpyrazolfosfaat.

| Bemestingstype | N _{min} (kg N/ha) bij aanvang teelt | Nitraatresidu van het perceel (kg N/ha) 0 - 60 |
|--|--|---|
| Nulbemesting | 72 b | 18 |
| KAS | 235 a | 28 |
| Ammoniumnitraat | 244 a | 42 |
| Ammoniumnitraat + DMPP | 225 a | 30 |
| Ammoniumsulfaat + DMPP | 213 a | 27 |
| UreaN (Ureum en ammoniumnitraat) | 223 a | 32 |
| UreaN + DMPP | 173 a | 27 |
| Novatec Solub (ammoniumsulfaat + DMPP) | 227 a | 23 |

Gemiddelden gevolgd door eenzelfde letter zijn niet significant verschillend (Duncan, $p=0,05$).

BLOEMKOOL

Een bodemanalyse uitgevoerd voor het planten, gaf als resultaat in de bovenste bodemlaag 25 kg N_{min}/ha. Voor vroege bloemkool wordt gewerkt met een streefwaarde van 250 kg N_{min} in de 0-30 cm bodemlaag.

Voor de objecten met rijenbemesting waarbij de meststoffen geconcentreerd en dichter bij de plant worden toegediend – wat in principe moet leiden tot een meer efficiënte opname – wordt in deze proef de streefwaarde verlaagd met 50 kg N_{min}/ha. Om te kunnen evalueren of deze bemesting toereikend is, werden twee objecten met KAS aangelegd: een object met de streefwaarde en een object met de verminderde streefwaarde.

Net zoals bij de spinazie betreft het hier ook een vroege bloemkoolteelt waarbij de percelen nadien worden gebruikt voor een andere teelt. Daarom heeft ook hier toetsing aan de drempelwaarden weinig nut, hoewel uit Tabel 10 blijkt dat het nitraatresidu van de meeste percelen onder de drempelwaarde ligt.

Net als bij de spinazieproef kunnen we hier concluderen dat de nitraatmeststoffen de hoogste nitraatresidu's geven. Bij KAS leidt de hogere dosis ook tot een hoger residu (terwijl de opbrengst niet hoger ligt – zie rapport veldproeven). De andere objecten hebben een vergelijkbaar nitraatresidu.

Tabel 10: Nitraatresidu's na bloemkoolteelt (genomen 01/06/2021). DMPP = dimethylpyrazolfosfaat.

| Bemestingstype | Bemestingsdosis (kg N/ha) | Nitraatresidu van het perceel (kg N/ha) | | | | | |
|------------------------|---------------------------|---|----|---------|-----|---------|----|
| | | 0 - 30 | | 30 - 60 | | 60 - 90 | |
| Onbemest | 0 | 15 | c | 6 | d | 29 | c |
| KAS breed (250-Nmin) | 225 | 90 | a | 19 | ab | 124 | a |
| KAS breed (200-Nmin) | 175 | 78 | a | 21 | a | 111 | a |
| Entec 26 breedwerpig | 175 | 38 | bc | 12 | c | 60 | bc |
| UreaN | 175 | 43 | bc | 14 | bc | 69 | b |
| Ammoniumsulfaat | 175 | 39 | bc | 13 | bc | 65 | bc |
| Ammoniumsulfaat + DMPP | 175 | 38 | bc | 13 | bc | 61 | bc |
| Ammoniumnitraat | 175 | 62 | ab | 16 | abc | 93 | ab |

Gemiddelden gevolgd door eenzelfde letter zijn niet significant verschillend (Duncan, $p = 0,05$).

PREI

Hoewel het de bedoeling was de preiteelt aan te leggen op het veld van de bloemkool is dit door een misverstand niet gebeurd en werd de prei dus op een andere locatie aangelegd. De nitraatresidu's van het bloemkoolveld kunnen dus niet gebruikt worden als startwaarden voor de preiteelt.

De nitraatresidu's bij het oogsten van de prei lagen allemaal onder de drempelwaarden, met Entec 26 en KAS de hoogste residu's, maar niet significant verschillend van de andere objecten. De herwonnen meststoffen scoorden dus zeker niet slechter dan de kunstmest, voor wat betreft nitraatresidu.

Tabel 11: Nitraatresidu's na preiteelt (genomen 01/12/2021). DMPP = dimethylpyrazolfosfaat.

| Bemestingstype | Nitraatresidu van het perceel (kg N/ha) | | | | | | | |
|------------------------|---|---|---------|---|---------|---|--------|--|
| | 0 - 30 | | 30 - 60 | | 60 - 90 | | 0 - 90 | |
| Onbemest | 4 | a | 3 | a | 6 | a | 13 | |
| KAS | 12 | a | 21 | a | 18 | a | 51 | |
| Entec 26 | 23 | a | 23 | a | 27 | a | 72 | |
| UreaN (ureum + AN) | 5 | a | 14 | a | 19 | a | 38 | |
| Ammoniumsulfaat | 9 | a | 12 | a | 16 | a | 36 | |
| Ammoniumsulfaat + DMPP | 10 | a | 12 | a | 21 | a | 43 | |
| Ammoniumnitraat | 4 | a | 18 | a | 21 | a | 42 | |
| Ammoniumnitraat + DMPP | 5 | a | 12 | a | 21 | a | 38 | |

3.1. Koolstofvoetafdruk

3.1.1. Resultaten voor midpoint indicatoren

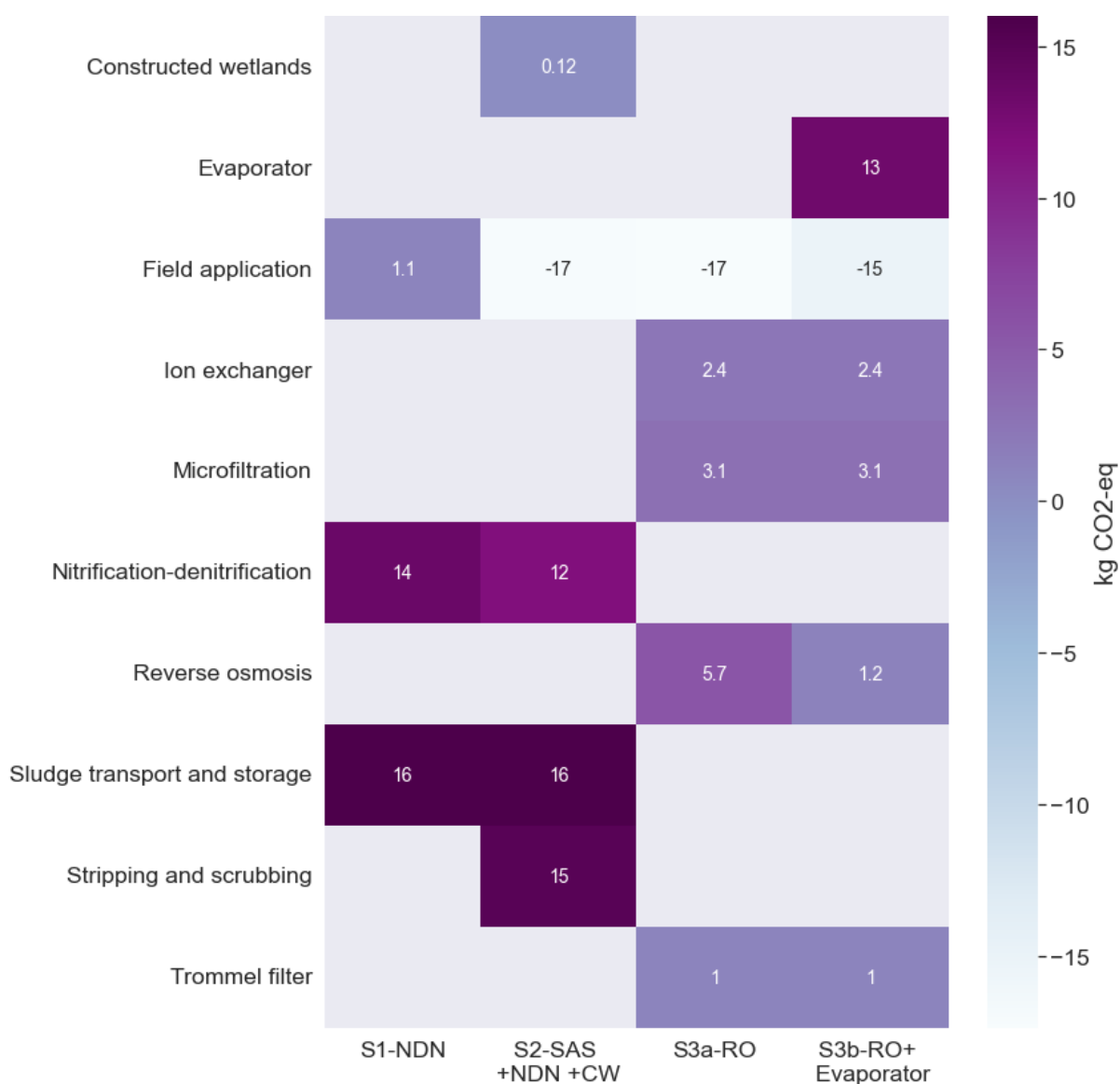
Tabel 12: Totale effecten voor de geselecteerde impactcategorieën. S1 staat voor NDN; S2 is stripping-scrubbing + NDN + RV. Scenario's S3a en S3b staan voor MC-terugwinning door MF (omgekeerde osmose) zonder en met verdamper, respectievelijk. De vetgedrukte effectcategorieën zijn in dit deel verder uitgewerkt.

| Impactcategorie | Eenheid | S1 | S2 | S3a | S3b |
|---|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 'Verzuring', 'gecumuleerde overschrijding (ae)' | mol H ⁺ eq | 0,066 | 0,072 | 0,050 | 0,089 |
| 'Klimaatverandering', 'aardopwarmingsvermogen (GWP100)' | kg CO₂ eq. | 30,719 | 25,660 | -5,164 | 5,826 |
| 'Ecotoxiciteit: zoet water', 'vergelijkende toxische eenheid voor ecosystemen (CTUe)' | CTUe | 108,754 | -133,857 | -237,565 | -2,687 |
| 'Eutrofiëring: zoet water', 'nutriëntenfractie die het zoetwatereindcompartiment bereikt (P)' | kg P eq. | 0,001 | -0,002 | -0,002 | 0,004 |
| 'Eutrofiëring: marien', 'nutriëntenfractie die het mariene eindcompartiment bereikt (N)' | kg N eq. | 0,034 | 0,076 | 0,064 | 0,064 |
| 'Eutrofiëring: terrestrisch', 'gecumuleerde overschrijding (AE) ' | mol N eq. | 0,231 | 0,396 | 0,269 | 0,327 |
| 'Ioniserende straling: menselijke gezondheid', 'menselijke blootstellingsefficiëntie t.o.v. u235' | kBq U-235 eq. | 3,939 | 3,724 | 5,271 | 14,801 |
| 'Landgebruik', 'bodemkwaliteitsindex' | pt | 106,01 | 91,57 | 98,755 | 124,99 |
| 'Energiebronnen: niet-hernieuwbaar', 'abiotisch uitputtingspotentieel (ADP): fossiele brandstoffen' | MJ | 273,876 | 133,981 | 152,888 | 431,466 |
| 'Watergebruik', 'potentieel gebruikersdeprivatie (deprivatie-gewogen waterverbruik)' | m ³ water eq watertekort | 1,891 | -3,715 | -3,778 | 0,732 |

Tabel 12 geeft een overzicht van de totale milieueffecten voor de belangrijkste impactcategorieën. Een aantal categorieën werd omwille van hun beperkte impact niet meegenomen. In de bijlages (Tabel S2) staat de lijst van alle effectcategorieën.

3.1.1.1. Koolstofvoetafdruk – klimaatveranderingspotentieel

Figuur 6 toont de bijdragen tot het klimaatveranderingspotentieel (in kg CO₂-eq) in elk stadium van de waardeketen. Uit Tabel 12 blijkt dat S1, d.w.z. nitrificatie-denitrificatie (NDN), het grootste klimaatveranderingspotentieel heeft (30,71 kg CO₂-eq) in vergelijking met de andere scenario's (S2: 25,66 kg CO₂-eq); S3a: -5,16 kg CO₂-eq en S3b: 5,82 kg CO₂-eq). De hoge effecten op klimaatverandering zijn te wijten aan vluchtige N₂O-emissies van de biologische zuiveringsstap (9,04 kg CO₂-eq), alsook aan de energievraag voor beluchting (1,98 kg CO₂-eq) en het gebruik van methanol voor denitrificatie (2 kg CO₂-eq). Andere belangrijke bijdragen zijn het transport van slib (16 kg CO₂-eq).



Figuur 6: Analyse van het klimaatveranderingspotentieel. De stap "omgekeerde osmose" in S3a omvat het vervoer van mineralenconcentraat en de stap "verdampert" in S3b omvat het vervoer van ingedamppt mineralenconcentraat.

Ondanks het feit dat S2 is uitgerust met NDN, vertoont het een vermindering met 16% van het klimaatveranderingspotentieel ten opzichte van S1. Dit is hoofdzakelijk te danken aan de verminderde N-belasting tijdens NDN als gevolg van de N-verwijdering uit het DUF in de stripping-scrubbing (Figuur 6). De grootste individuele bijdrage in S2 is de productie van salpeterzuur (14,48 kg CO₂-eq), maar deze emissies worden gecompenseerd door de vermeden productie van synthetische N (-24 kg CO₂-eq) aangezien het ammoniumnitraat uit het stripping-scrubbingproces kunstmest vervangt.

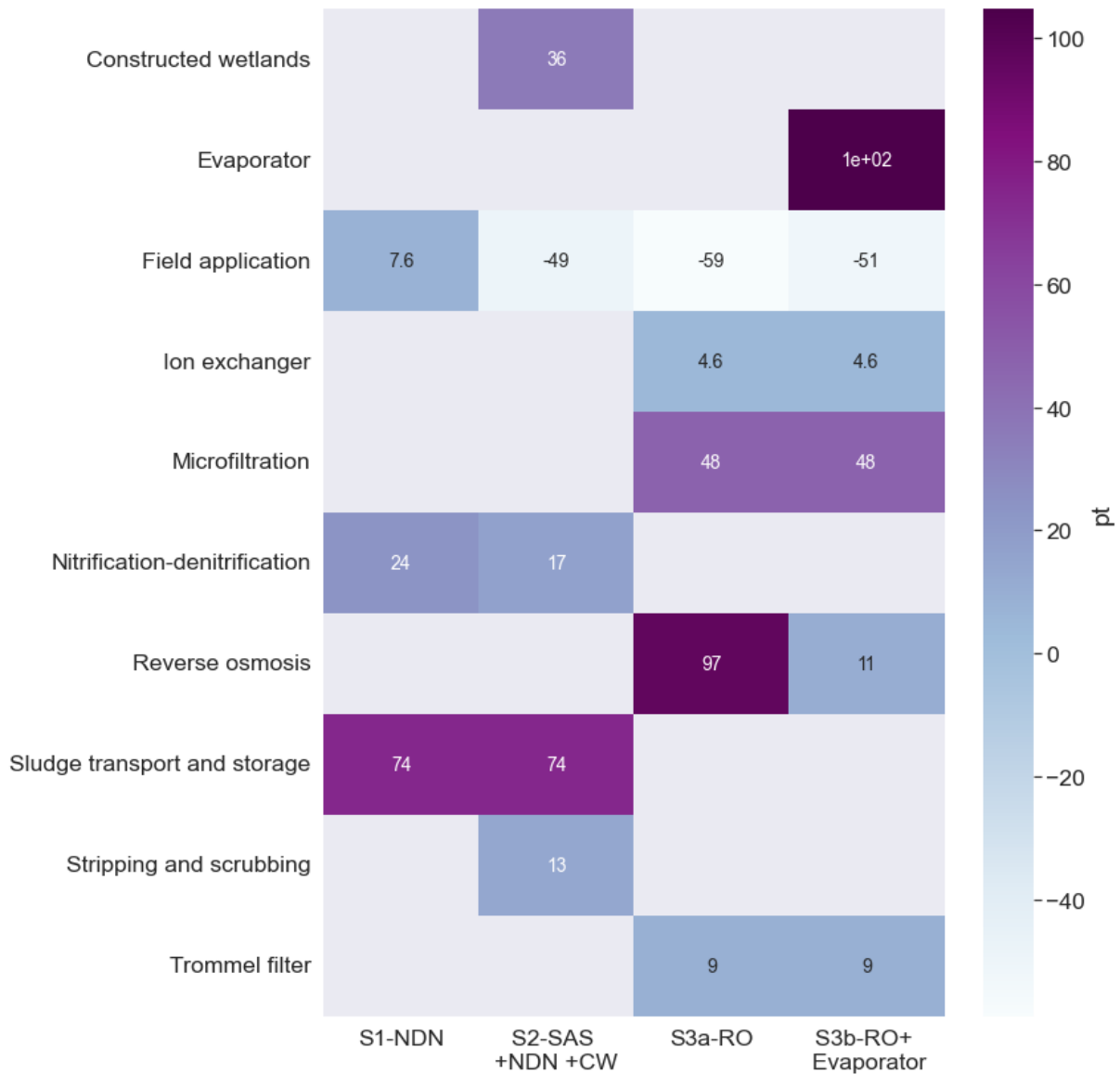
Van alle scenario's heeft scenario S3a het kleinste klimaatveranderingspotentieel (-5,16 kg CO₂) (Tabel 12). Deze milieuvordelen kunnen voornamelijk worden toegeschreven aan het vermijden van N- en K-meststoffen (-22 kg CO₂-eq en -0,91 kg CO₂-eq; Figuur 6) door gebruik van mineralenconcentraat als meststof. De hoogste lasten van S3a zijn toe te schrijven aan de broeikasgasemissies van de toepassing op het veld (6,1 kg CO₂-eq), alsook aan de effecten van de infrastructuur (microfiltratie, omgekeerde osmose en ionenwisselaarmodules), die bijdragen tot 3 kg CO₂-eq.

Scenario 3b heeft van alle scenario's de grootste impact op het gebruik van hulpmiddelen (elektriciteit, ascorbinezuur (antischuimmiddel), natriumhypochloriet (reinigingsmiddel). Bovendien is de belasting ten gevolge van de infrastructuur (3,81 kg CO₂-eq; Figuur 6) in scenario 3b het hoogst van alle scenario's. De hoge belasting door infrastructuurgebruik in scenario 3b is voornamelijk te wijten aan het roestvrij staal en messing dat nodig is voor de verdampers en de extra belasting door infrastructuur komt voort uit de ionenuitwisselingshars en de keramische en omgekeerde osmose membranen voor microfiltratie. Het elektriciteitsgebruik in scenario 3b is ook het hoogste van alle scenario's en dit is te wijten aan de energievraag van de verdamping (8,1 kg CO₂-eq). Deze lasten worden echter gecompenseerd door voordelen als gevolg van vermeden N- en K-meststoffen. De effecten van het vervoer van het eindproduct zijn het kleinst voor 3b (8,3 kg CO₂-eq), aangezien de nutriënten in een kleiner volume worden geconcentreerd, in vergelijking met de scenario's 1 (8,37 kg CO₂-eq), 2 (8,42 kg CO₂-eq) en 3a (13 kg CO₂-eq).

3.1.1.2. Landgebruik

Figuur 7 toont de impactbijdragen van landgebruik in elke fase van de waardeketen door middel van een puntensysteem. S3b draagt bij aan de hoogste impact van landgebruik (125 punten), gevolgd door de scenario's S1 (106,01 punten), S3a (98,75 punten) en S2 (91,57 punten).

De hoge impact op het landgebruik in S3b (125 punten) kan vooral worden toegeschreven aan de verdampingsstap. Uit een opsplitsing van de bijdragen blijkt dat 55 punten verband houden met de elektriciteitsvraag (elektriciteitsmarkt, hoogspanning BE), die wordt gedekt door elektriciteit die wordt geproduceerd door warmte- en elektriciteitscentrales die houtsnippers verbranden (76%) en de import van elektriciteit uit Nederland (24%). De resterende effecten zijn afkomstig van het vervoer van het product (42,83 punten) en de infrastructuur (13,27 punten).



Figuur 7: Analyse van de bijdrage van het landgebruik. De stap "omgekeerde osmose" in S3a omvat het transport van mineralenconcentraat en de stap "verdampert" in S3b omvat het transport van ingedampt mineralenconcentraat.

Voor S1 komen de grootste bijdragen van het transport van slib (74 punten), elektriciteit (17,06 punten) en het gebruik van methanol (5,64 punten). In tegenstelling tot andere scenario's zijn de effecten van veldtoepassing positief (7,6), aangezien de vermeden productie van synthetische N-meststoffen verwaarloosbaar is.

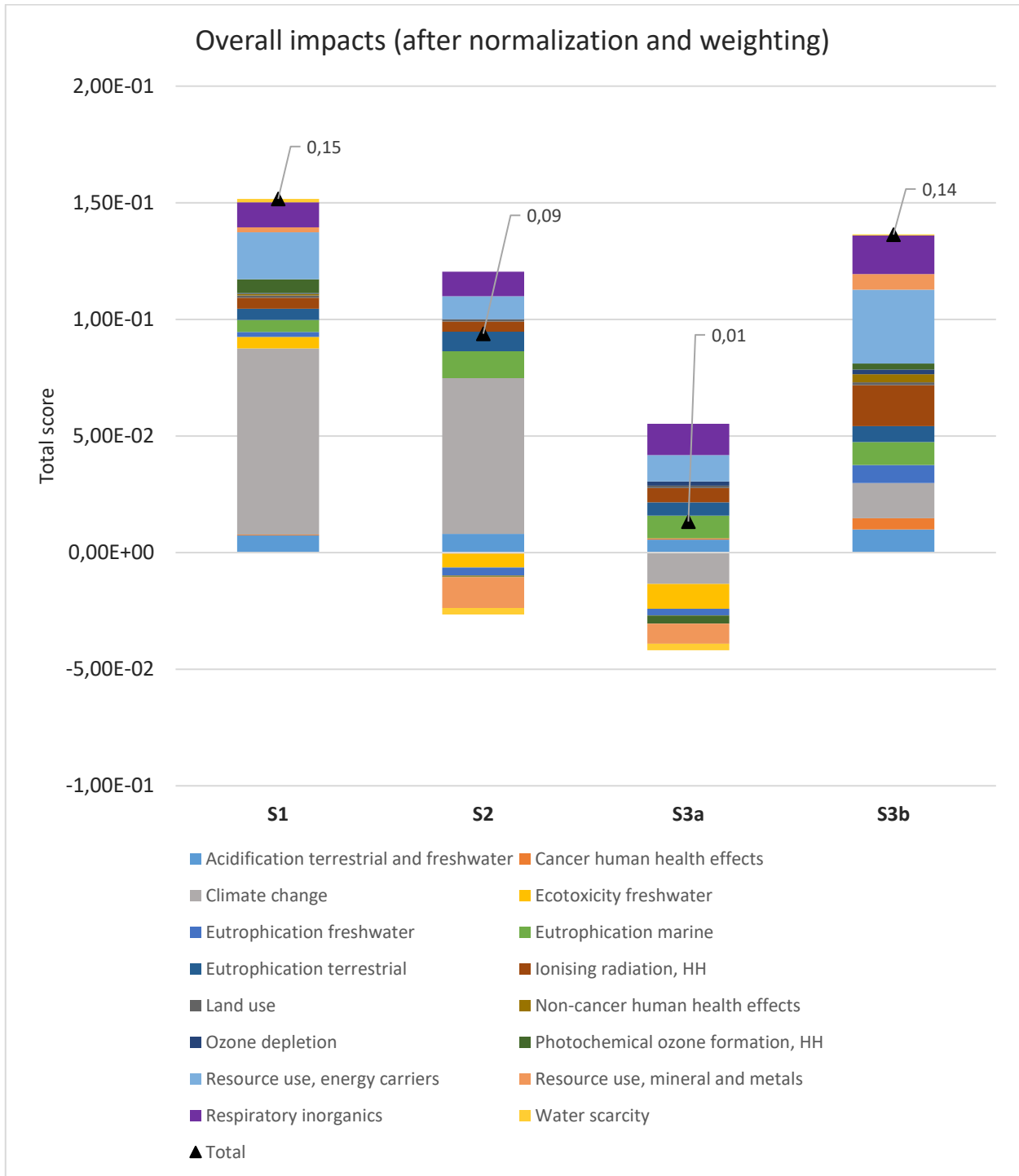
In scenario S3a draagt omgekeerde osmose bij tot de grootste impact in de waardeketen (97 punten). Dit kan voornamelijk worden toegeschreven aan het transport van het product, dat 86,07 punten

bijdraagt. Een diepere analyse van het eenheidsverwerkingsproces dat voor het transport wordt gebruikt, d.w.z. transport, vracht, vrachtwagen >32 metrieke ton, EURO6', bracht aan het licht dat 80% van deze impact wordt veroorzaakt door de impact veroorzaakt door de aanleg van wegen.

Ondanks het ruimtegebruik van rietvelden (RV) heeft scenario S2 de laagste impact op landgebruik. Hoewel het landgebruik als gevolg van RV 36 punten bedraagt, worden deze effecten gecompenseerd door de vermeden N-meststoffen (-57 punten). Ook het effect van het transport van het product, d.w.z. ammoniumnitraat (8,05 punten), op het landgebruik is lager vergeleken met de mineralenconcentraten die in de scenario's S3a (86,07 punten) en S3b (42,83 punten) worden geproduceerd. Dit komt omdat het percentage N per volume-eenheid hoger is in ammoniumnitraat.

3.1.2. Resultaten voor “endpoint” indicator

De resultaten van de midpoint indicatoren werden genormaliseerd en afgewogen tot één enkele score volgens de PEF richtlijnen (Figuur 8). Uit deze samengestelde score, de endpoint indicator, blijkt dat omgekeerde osmose (S3) beter presteert dan NDN (S1), stripping-scrubbing (S2) en omgekeerde osmose + verdamper (S3b).



Figuur 8: Resultaten met één score, waarbij het DUF-beheer wordt vergeleken. S1 staat voor NDN; S2 voor stripping-scrubbing + NDN + RV. Scenario's S3a en S3b staan voor mineralenconcentrat via omgekeerde osmose en via omgekeerde osmose + verdamper respectievelijk.

3.2. RENURE criteria

In Tabel 13 worden de berekende verhoudingen uit Tabel 3 en Tabel 4 per product weergegeven naast de waarde opgelegd in de RENURE criteria II en III. Van ammoniumcarbonaat zijn onvoldoende gegevens beschikbaar.

Tabel 13: Vergelijking van de analysesresultaten met de RENURE criteria.

| Meststof | N _{min} :N _{tot} | TOC:N _{tot} | Cu (mg/kg DS) | Zn (mg/kg DS) |
|-----------------|------------------------------------|----------------------|---------------|---------------|
| RENURE criteria | ≥ 90% | ≤ 3 | 300 | 800 |
| AN | 93% | 0,02 | 0,31 | 0,64 |
| AS | 94 – 100% | 0,07 | 0,58 | 3,40 |
| Spuiwater | 100% | 0,02 | 29 | d.l. |
| MC | 95% | 1,63 | 0,37 | 1,86 |

d.l. = onder detectielimiet

3.2.1. Criterium I

Zowel ammoniumzouten afkomstig van stripping-scrubbing en chemische luchtwassers als mineralenconcentraat afkomstig van membraanfiltratie voldoen aan de definitie van RENURE.

3.2.2. Criterium II

Uit Tabel 13 blijkt dat zowel op vlak van de verhouding minerale stikstof ten opzichte van de totale stikstof als op vlak van totaal organische koolstof op totale stikstof alle vier de herwonnen meststoffen voldoen aan het criterium. Het mineralenconcentraat heeft duidelijker wel een hoger gehalte aan koolstof, maar ruim onder de drempelwaarde.

3.2.3. Criterium III

Wat zware metalen koper (Cu) en zink (Zn) betreft, liggen alle resultaten ruim onder de drempelwaardes gesteld in de RENURE-criteria (Tabel 13).

3.2.4. Criterium IV

Om uitspoeling en afspoeling van nutriënten te voorkomen, moeten goede landbouw- en milieupraktijken toegepast worden.

- a. De [Nitroman productfiches](#) geven een indicatie van de samenstelling. Vanwege mogelijke variatie tussen verschillende batches is het evenwel sterk aangeraden om de bemesting te berekenen op basis van een recente productanalyse.

- b. Daarnaast wordt de stikstof optimaal benut en opgenomen als er zoveel mogelijk jaarrond gewassen geteeld worden op het perceel. De verantwoordelijkheid hiervan ligt bij de landbouwer en hangt dus niet zozeer af van de gebruikte meststoffen.

3.2.5. Criterium V

Ammoniumnitraat en mineralenconcentraat hebben een pH hoger dan 5,5. Enkel van mineralenconcentraat komt de N bovendien meer dan 60% onder een andere vorm dan $\text{NO}_3\text{-N}$ voor. Enkel mineralenconcentraat moet dus zeker emissiearm op het perceel aangebracht worden. Het is aangewezen om ook ammoniumnitraat en ammoniumsulfaat zoveel mogelijk op een emissiearme manier op het veld te gaan toepassen om ammoniakvervluchtiging te minimaliseren.

Hoewel er tijdens Nitroman geen emissiemetingen werden uitgevoerd, kunnen er toch enkele algemene adviezen meegegeven worden naar emissiearme toediening. Injectie van de meststoffen kan door gebruik van een sleufkouterbemester, zodebemester, sleepslangbemester of spaakwielbemester. Bij andere toedieningswijzen dient de meststof direct ingewerkt te worden.

Door deze specifieke manier van toediening is bijbemesting niet voor alle teelten haalbaar. Rijbemesting bij de groenten is haalbaar, en vanwege de lage stikstofconcentratie bieden deze meststoffen dus een voordeel als tussentijdse bemesting. Bij teelten zoals mais zullen deze meststoffen toegediend moeten worden bij het zaaien van het gewas, idealiter als rijbemesting.

3.2.6. Criterium VI

Reeds in eerdere proeven en ook binnen Nitroman werden deze herwonnen meststoffen gedurende één à twee jaar opgeslagen in een *'Intermediate bulk container'* (IBC) of cubitainer. Analyses die telkens werden genomen voor gebruik, toonden aan dat de producteigenschappen niet tot weinig varieerden.

Emissies bij opslag vermijden kan dus door simpelweg een gesloten opslag te voorzien, en temperatuurschommelingen te vermijden, zodat er geen vervluchtiging kan optreden.

4. Conclusies

Uit de productanalyses en nitraatresidu's kunnen we afleiden dat deze herwonnen meststoffen een vergelijkbare milieu-impact hebben als de gebruikelijke minerale kunstmeststoffen. Net als bij KAS geldt dat als de gewassen door droog weer niet voldoende kunnen groeien en de nutriënten niet voldoende kunnen opnemen, de nitraatresidu's hoger zullen zijn, ongeacht het type meststof. KAS presteert zelfs slechter in sommige gevallen van droog weer.

Uit de LCA blijkt dat alle scenario's beter scoren dan het basisscenario nitrificatie-denitrificatie, dat vooral in Vlaanderen de courante praktijk is. Tussen de bestudeerde scenario's zijn er belangrijke verschillen. Op basis van de beschikbare data, scoort de behandeling van DUF via membraanfiltratie en omgekeerde osmose beter dan de nitrificatie-denitrificatie, stripping-scrubbing + nitrificatie-denitrificatie + aanleg van rietvelden en het scenario omgekeerde osmose + verdamper. Naarmate er bij verdere uitrol van de technologieën meer data beschikbaar komen, moet getoetst worden of de aannames inzake levensduur van de materialen, correct zijn. De resultaten van de LCA bieden vooral inzicht in de categorieën met de grootste impact. Daarbij blijkt dat de effecten van het gebruik van hulpmiddelen (elektriciteit, brandstof, ...) en infrastructuur hoge milieubelastingen veroorzaken, maar deze worden gecompenseerd door de vermeden N- en K-meststoffen door het gebruik van mineralenconcentraat. Daarom moet de nadruk liggen op het optimaliseren van het gebruik van hulpmiddelen en het verlengen van de levensduur van de infrastructuur voor microfiltratie, omgekeerde osmose, ionenwisselaars en verdampers.

Behalve het ammoniumcarbonaat, waarvan onvoldoende gegevens beschikbaar waren en dat door de constructeur ook niet verder werd onderzocht, voldeden alle onderzochte herwonnen meststoffen aan de RENURE-criteria. Uiteraard is een aangepaste opslag en bemestingstechniek aangewezen om emissies en vervluchtiging zoveel mogelijk tegen te gaan, maar ook een zo optimaal mogelijke prestatie van de herwonnen meststoffen te garanderen.

Dus, hoewel de nutriënteninhoud per batch kan verschillen, kan er geen verschil in milieu-impact worden vastgesteld tussen de RENURE-kandidaten en de minerale kunstmeststoffen en zijn ze dus klaar voor een RENURE-status.

5. Referenties

Huygens D., Orveillon G., Lugato E., Tavazzi S., Comero S., Jones A., Gawlik B., H. S. 2020. Technical proposals for the safe use of processed manure above the threshold established for Nitrate Vulnerable Zones by the Nitrates Directive (91/676/EEC). Report no.

Jie Y, Buissonjé F, Melse R. 2017. Livestock manure treatment technology of the Netherlands and situation of China: white paper. Wageningen Livestock Research. Report no.

Reuland G, Sigurnjak I, Dekker H, Michels E, Meers E. 2021. The Potential of Digestate and the Liquid Fraction of Digestate as Chemical Fertiliser Substitutes under the RENURE Criteria. Agronomy 11:1374.

Roefs J. 2021. Treatment of surplus manure in the Netherlands.

Tampio E, Marttinen S, Rintala J. 2016. Liquid fertilizer products from anaerobic digestion of food waste: mass, nutrient and energy balance of four digestate liquid treatment systems. Journal of Cleaner Production 125:22-32.



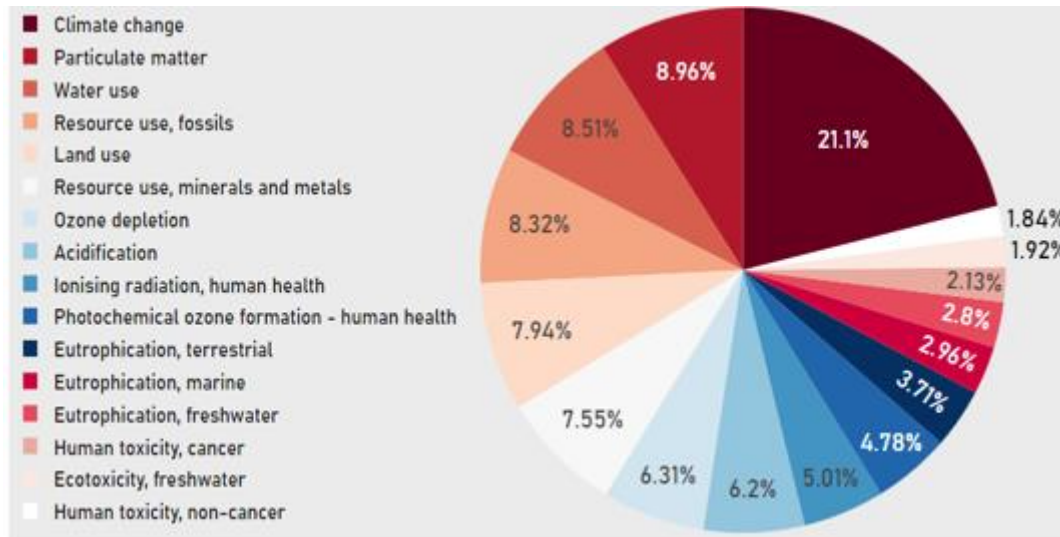
Nitroman is gefinancierd binnen het Interreg V programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: www.grensregio.eu.

6. Bijlages

De normalisatie- en afwegingsfactoren worden beschreven in respectievelijk tabel S1 en figuur S1.

Tabel S1: Normalisatiefactoren volgens de EF-methodologie.

| | | |
|---|---|----------|
| NF Verzuring | mol H ⁺ eq./persoon | 5,56E+01 |
| NF Humane toxiciteit, kankerverwekkend | CTUh/persoon | 1,69E-05 |
| NF Klimaatsverandering | kg CO ₂ eq./persoon | 8,10E+03 |
| NF Ecotoxiciteit zoet water | CTUe/persoon | 4,27E+04 |
| NF Zoet water eutrofiëring | kg P eq./persoon | 1,61E+00 |
| NF Mariene eutrofiëring | kg N eq./persoon | 1,95E+01 |
| NF Terrestrische eutrofiëring | mol N eq./persoon | 1,77E+02 |
| NF Ioniserende radiatie | kBq U-235 eq./persoon | 4,22E+03 |
| NF Landgebruik | pt/persoon | 8,19E+05 |
| NF Humane toxiciteit, niet-kankerverwekkend | CTUh/persoon | 2,30E-04 |
| NF Ozonafbraak | kg CFC-11 eq./persoon | 5,36E-02 |
| NF Fotochemische ozonvorming | kg NMVOC eq./persoon | 4,06E+01 |
| NF Grondstofuitputting, fossiel | MJ/persoon | 6,50E+04 |
| NF Grondstofuitputting, mineralen en metalen | kg Sb eq./persoon | 6,36E-02 |
| NF Zwevende deeltjes | ziektegevallen/persoon | 5,95E-04 |
| NF Watergebruik | m ³ water eq watertekort/persoon | 1,15E+04 |



Figuur S1: Afwegingsfactoren volgens de EF-methodologie.

Tabel S2: Totale effecten op het middenpunt voor alle impactcategorieën.

| Impactcategorie | Eenheid | S1 | S2 | S3a (OO) | S3b (OO + indamper) |
|--|--------------------------------|-----------|-----------|---------------------|--------------------------------|
| 'EF v3.0', 'Verzuring', 'gecumuleerde overschrijding (ae)' | mol H ⁺ eq./persoon | 6.58E-02 | 7.20E-02 | 5.01E-02 | 8.87E-02 |
| 'EF v3.0', 'Humane toxiciteit: kankerverwekkend', 'vergelijkende toxische eenheid voor de mens (CTUh)' | CTUh/persoon | 2.46E-09 | -3.44E-09 | 4.08E-09 | 3.80E-08 |
| 'EF v3.0', 'Klimaatverandering', 'aardopwarmingsvermogen (GWP100)' | kg CO ₂ eq./persoon | 3.07E+01 | 2.57E+01 | -5.16E+00 | 5.83E+00 |
| 'EF v3.0', 'Ecotoxiciteit: zoet water', 'vergelijkende toxische eenheid voor ecosystemen (CTUe)' | CTUe/persoon | 1.09E+02 | -1.34E+02 | -2.38E+02 | -2.69E+00 |
| 'EF v3.0', 'Eutrofiëring: zoet water', 'nutriëntenfractie die het zoetwatereindcompartiment bereikt (P)' | kg P eq./persoon | 1.20E-03 | -1.96E-03 | -1.62E-03 | 4.45E-03 |
| 'EF v3.0', 'Eutrofiëring: marien', 'nutriëntenfractie die het mariene eindcompartiment bereikt (N)' | kg N eq./persoon | 3.41E-02 | 7.64E-02 | 6.44E-02 | 6.43E-02 |
| 'EF v3.0', 'Eutrofiëring: terrestrisch', 'gecumuleerde overschrijding (AE)' | mol N eq./persoon | 2.31E-01 | 3.96E-01 | 2.69E-01 | 3.27E-01 |
| 'EF v3.0', 'Ioniserende straling: menselijke gezondheid', 'menselijke blootstellingsefficiëntie t.o.v. u235' | kBq U-235 eq./persoon | 3.94E+00 | 3.72E+00 | 5.27E+00 | 1.48E+01 |
| 'EF v3.0', 'Landgebruik', 'bodemkwaliteitsindex' | pt/persoon | 1.06E+02 | 9.16E+01 | 9.88E+01 | 1.25E+02 |
| 'EF v3.0', 'Humane toxiciteit: niet-kankerverwekkend', 'vergelijkende giftige eenheid voor de mens (CTUh)' | CTUh/persoon | 8.92E-08 | -6.23E-08 | -5.93E-10 | 4.42E-07 |

| | | | | | |
|---|---|----------|-----------|-----------|----------|
| 'EF v3.0', 'Ozonafbraak', 'ozonafbrekend vermogen (ODP)' | kg CFC-11 eq./persoon | 2.36E-06 | 1.22E-06 | 1.55E-05 | 1.65E-05 |
| 'EF v3.0', 'Fotochemische ozonvorming: menselijke gezondheid', 'toename troposferische ozonconcentratie' | kg NMVOC eq./persoon | 2.71E-02 | -1.01E-03 | -1.61E-02 | 1.15E-02 |
| 'EF v3.0', 'Energiebronnen: niet-hernieuwbaar', 'abiotisch uitputtingspotentieel (ADP): fossiele brandstoffen' | MJ/persoon | 2.74E+02 | 1.34E+02 | 1.53E+02 | 4.31E+02 |
| 'EF v3.0', 'Materiële grondstoffen: metalen/mineralen', 'abiotisch uitputtingspotentieel (ADP): elementen (eindreserves)' | kg Sb eq./persoon | 1.60E-05 | -1.01E-04 | -6.58E-05 | 5.15E-05 |
| 'EF v3.0', 'Vorming van zwevende deeltjes', 'gevolgen voor de menselijke gezondheid' | ziektegevallen/persoon | 8.51E-07 | 8.22E-07 | 1.06E-06 | 1.30E-06 |
| 'EF v3.0', 'Watergebruik', 'potentieel gebruikersdeprivatie (deprivatie-gewogen waterverbruik)' | m ³ water eq watertekort/persoon | 1.89E+00 | -3.72E+00 | -3.78E+00 | 7.32E-01 |

Tabel S3: Resultaten bij eindpunt.

| Indicator | Unit | S1 | S2 | S3 | S4 |
|---|-----------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Acidification terrestrial and freshwater | mol H ⁺ eq | 7.34E-03 | 8.04E-03 | 9.90E-03 | 1.79E-02 |
| Cancer human health effects | CTUh | 3.10E-04 | -4.34E-04 | 4.79E-03 | 4.64E-03 |
| Climate change | kg CO ₂ eq | 7.99E-02 | 6.68E-02 | 1.52E-02 | 3.26E-02 |
| Ecotoxicity freshwater | CTUe | 4.89E-03 | -6.02E-03 | -1.21E-04 | -3.80E-03 |
| Eutrophication freshwater | kg P eq | 2.09E-03 | -3.41E-03 | 7.76E-03 | 9.18E-03 |
| Eutrophication marine | kg N eq | 5.17E-03 | 1.16E-02 | 9.74E-03 | 5.80E-03 |
| Eutrophication terrestrial | mol N eq | 4.84E-03 | 8.30E-03 | 6.86E-03 | 1.41E-02 |
| Ionising radiation, HH | kBq U-235 eq | 4.68E-03 | 4.42E-03 | 1.76E-02 | 2.00E-02 |
| Land use | Pt | 1.03E-03 | 8.87E-04 | 1.21E-03 | 1.14E-03 |
| Non-cancer human health effects | CTUh | 7.15E-04 | -4.99E-04 | 3.54E-03 | 3.21E-03 |
| Ozone depletion | kg CFC11 eq | 2.77E-04 | 1.44E-04 | 1.94E-03 | 2.06E-04 |
| Photochemical ozone formation, HH | kg NMVOC eq | 5.98E-03 | -2.22E-04 | 2.54E-03 | 3.51E-03 |
| Resource use, energy carriers | MJ | 2.01E-02 | 9.85E-03 | 3.17E-02 | 3.23E-02 |
| Resource use, mineral and metals | kg Sb eq | 2.09E-03 | -1.32E-02 | 6.73E-03 | 5.56E-03 |
| Respiratory inorganics | ziektegevallen | 1.08E-02 | 1.04E-02 | 1.65E-02 | 1.84E-02 |
| Water scarcity | m ³ depriv | 1.40E-03 | -2.76E-03 | 5.43E-04 | -1.01E-03 |
| | | 0.15 | 0.093 | 0.13 | 0.16 |