

# WHITEPAPER

## Cross-overs in de Kringlooplandbouw: Glastuinbouw & Paddenstoelenteelt



WAGENINGEN  
UNIVERSITY & RESEARCH

# Over deze Whitepaper

## Cross-overs in de Kringlooflandbouw: Glastuinbouw & Paddenstoelenteelt

In deze whitepaper wordt ingegaan op de ontwikkeling van cross-overs: verbindingen tussen ketens waarin uitgaande reststromen van het ene systeem verwaard worden tot grondstoffen voor een ander systeem. Specifiek wordt hier gekeken naar de potentie van een cross-over tussen de glastuinbouw- en paddenstoelensector. Het onderzoeken van cross-overs tussen teeltsystemen en/of industriële processen is een van de verkenningsroutes in de transitie naar kringlooflandbouw; een essentiële bouwsteen voor een circulaire economie.

De kennis die is ontwikkeld voor en beschikbaar is via deze whitepaper, is onderdeel van het Kennisbasis Onderzoek Programma: Circulair en Klimaatneutraal dat gefinancierd wordt door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. De Business unit Glastuinbouw van Wageningen University & Research is aandrijver en uitvoerder van het overkoepelende onderzoek (KB-34-007-007) dat focust op de transitie naar een circulaire glastuinbouw sector. De verkenning van cross-overs tussen de glastuinbouw en andere sectoren wordt uitgevoerd in samenwerking met Wageningen Livestock Research, Wageningen Food & Biobased Research en Plant Breeding (Wageningen Plant Research). Andere whitepapers binnen deze serie zijn:

- Cross-over tussen Glastuinbouw & Aquacultuur
- Cross-over tussen Glastuinbouw & Varkenshouderij
- Cross-over tussen Vertical Farm & Metropool

Voor meer informatie of feedback kunt u de website [www.wur.nl/glastuinbouw](http://www.wur.nl/glastuinbouw) bezoeken of contact opnemen via: [glastuinbouw@wur.nl](mailto:glastuinbouw@wur.nl)



## **Disclaimer**

© 2022 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, [www.wur.nl/plant-research](http://www.wur.nl/plant-research).

Kamer van Koophandel nr.: 09098104  
BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

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

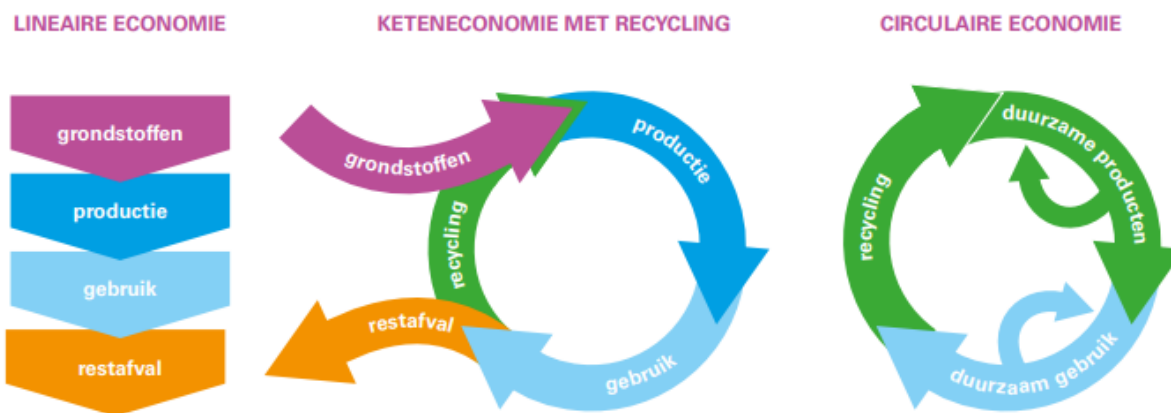
Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

## **Adresgegevens**

Wageningen University & Research  
Business unit Glastuinbouw  
Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk  
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk  
T +31 (0)317 - 48 56 06  
[glastuinbouw@wur.nl](mailto:glastuinbouw@wur.nl)  
[www.wur.nl/glastuinbouw](http://www.wur.nl/glastuinbouw)

## Kringlooplandbouw in een circulaire economie

De circulaire economie komt er aan en vraagt om nieuwe antwoorden. Het eerste doel van het Rijksbrede programma Nederland Circulair in 2050 stelt een flinke uitdaging voor de samenleving en alle (productie)sectoren: in 2030 gebruikt Nederland 50% minder primaire grondstoffen (mineralen, metalen en fossiel). Om dit doel te behalen wordt er ingezet op efficiënter gebruik van grondstoffen, een omslag naar hernieuwbare grondstoffen en circulair ontwerp van nieuwe productiemethodes en producten.



**Figuur 1. Verschillen tussen lineaire, keten- en circulaire economie (Raad voor de leefomgeving en infrastructuur, 2015).**

Ook de landbouw zal de komende jaren een transitie gaan doormaken waarbij nieuwe manieren van voedselproductie worden ontwikkeld die passen bij de draagkracht van de planeet. De Visie Landbouw, Natuur en Voedsel: Waardevol en Verbonden stuurt aan op kringlooplandbouw. Een uitgangspunt voor de kringlooplandbouw is dat alle biomassa optimaal benut wordt. Daartoe moet hergebruik de norm worden: reststromen uit de ene keten worden verwaard tot grondstoffen voor een andere keten. Om kwaliteit en (voedsel)veiligheid te borgen voorzien wij dat reststromen op basis van grondstofsificaties zullen moeten worden geproduceerd en dat verscheidene ketens meer met elkaar verbonden zullen raken.

## Ontwikkeling van cross-overs in de landbouw

Vanuit het onderzoek anticiperen we op deze ontwikkelingen door *cross-overs* te verkennen: verbindingen tussen ketens waarin uitgaande reststromen van het ene systeem verwaard worden tot grondstoffen voor een ander systeem. Om het potentieel van een cross-over in kaart te brengen moeten vragen beantwoord worden zoals:

- Welke reststromen produceren de sectoren?
- Welke van deze stromen zijn potentiële grondstoffen voor andere sectoren?
- Wat zijn de verwachte voordelen van het uitwisselen en hergebruiken van een reststroom?
- Welke uitdagingen worden waargenomen voordat de voordelen worden bewerkstelligd? (denk bijvoorbeeld aan schaalgrootte, logistiek, kwaliteits- en veiligheidseisen of wetgeving)
- Wat zijn mogelijke oplossingen voor deze uitdagingen? (denk bijvoorbeeld aan technologie, infrastructuur, samenhangend beleid en nieuwe business modellen)

Door in te gaan op deze vragen willen we een gedeeld toekomstbeeld ontwikkelen en van daar uit samen met ondernemers coalities bouwen om cross-overs te realiseren die zowel economisch als ecologisch bijdragen aan de transitie naar een duurzaam, circulair voedselsysteem. In deze whitepaper focussen wij op de potentie van een cross-over tussen **glastuinbouw** en **paddenstoelenteelt**. De cases die na een verkennende fase zijn geselecteerd voor uitwerking in deze whitepaper zijn:

- Verwaarding van ammoniak uit compostering voor champignons tot hoogwaardig nitraat voor de glastuinbouw
- Verwaarding van koolstof uit de paddenstoelenketen tot fossielvrije CO<sub>2</sub> voor de glastuinbouw
- Verwaarding van restbiomassa uit de glastuinbouw tot substraat voor de paddenstoelenteelt



## Glastuinbouw

In 2020 telde de Nederlandse glastuinbouw 3.660 bedrijven met een totaal oppervlak van 10.080 ha aan kassen.<sup>1</sup> Daarmee is de sector (wereldwijd) een grote speler in de efficiënte productie van groenten, bloemen en planten. De sector heeft als sterke punten dat het bijzonder efficiënt met water en meststoffen omgaat, en dat de beschermde teelt veel mogelijkheden biedt tot biologische bestrijding van ziekten en plagen, waardoor het een veilige productie van hoogwaardige producten met een hoge leveringszekerheid kan garanderen. Nadelen zijn het hoge energiegebruik, afhankelijkheid van primaire grondstoffen en de gemengde afvalstromen.



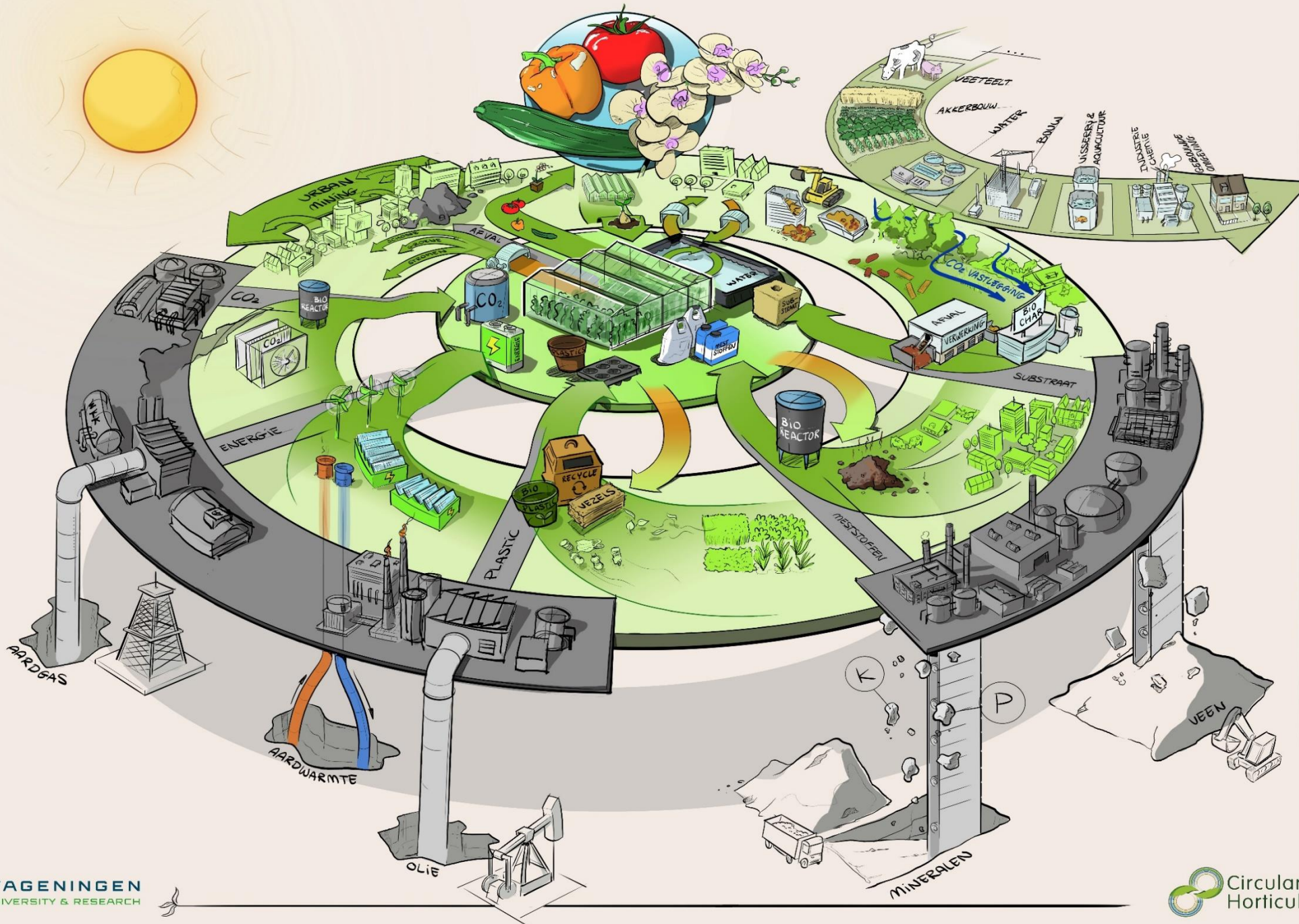
**Figuur 2. Luchtfoto van een glastuinbouwbedrijf in Nederland.**

Voor zes kenmerkende materiaalstromen (water, meststoffen, substraat, CO<sub>2</sub>, plastics en biomassa) is in samenwerking met de Club van 100 een richtinggevend toekomstbeeld van een circulaire glastuinbouw ontwikkeld (Figuur 3). Met behulp van dit toekomstbeeld worden consortia gevormd om tot een circulaire bedrijfsvoering en keten te komen voor deze materiaalstromen. Door nu in te zetten op de transitie van lineair naar circulair, blijft de *license-to-operate* voor de sector geborgd. De glastuinbouw sector is al efficiënt, gaat werken aan bruikbare uitgaande stromen, en kan daarna de verbinding aangaan met andere sectoren. Niet alleen als leverancier van grondstoffen maar ook als *upcycling* systeem; een systeem dat minder afhankelijk is van primaire bronnen en meer inspeelt op de potentie van lokale, hernieuwbare bronnen.



# GLASTUINBOUW IN DE CIRCULAIRE ECONOMIE

EFFICIËNT, SCHOON EN VERBONDEN



**Figuur 3. Richtinggevend toekomstbeeld voor de glastuinbouw in een circulaire economie; afhankelijkheid van eindige grondstoffen uit natuurlijke reserves wordt afgebouwd. In plaats daarvan worden zoveel mogelijk lokale, hernieuwbare bronnen ingezet en materiaalkringlopen worden verder gesloten.**



## Paddenstoelenteelt

De paddenstoelensector in Nederland omvat een aantal sterk verschillende partijen met veelal gescheiden rollen: toeleveranciers van tunnel-, teelt-, en klimaatsystemen, broedproducenten, substraatproducenten, telers, verwerkers, en handelshuizen. Voor dit rapport ligt de focus op substraatproducenten en telers, omdat bij deze de grootste materiaalstromen lopen.

De paddenstoelensector in Nederland wordt gedomineerd door de teelt van champignons die met een huidige productie van 240.000 ton circa 95% van de totale teelt van paddenstoelen beslaat.<sup>2</sup> Nederland is op het moment de 4<sup>e</sup> producent van champignons wereldwijd. Ongeveer een derde van de champignons worden vers verkocht. De andere twee derden worden verwerkt, waarvan 40% voor diepvries en 60% voor conserven. De totale jaarlijkse waarde van de Nederlandse champignonteelt is ongeveer 300 miljoen €.<sup>3</sup>

Naast champignons produceert Nederland zogenoemde *exoten* zoals de oesterzwam, koningsoesterzwam, shiitake en beukenzwam. Van de exoten in Nederland is de oesterzwam (en met name het ras SPOPPO) veruit het grootste product, al zijn exacte productiecijfers en opbrengsten van exoten voor Nederland niet bekend.

De verhouding tussen champignonteelt en teelt van exoten is aan het verschuiven. Waar productie van champignons gelijk blijft of zelfs daalt, neemt productie van exoten sterk toe. Daarnaast heeft in de champignonteelt een sterke schaalvergroting plaatsgevonden (afname aantal telers met behoud teeltareaal).<sup>4,5</sup> Dit is van belang voor cross-overs, omdat voor de productie van champignons en exoten verschillende substraten en teelten worden toegepast, en schaal van belang is voor de haalbaarheid van het uitwisselen van stromen.

De champignonteelt in Nederland is opgedeeld in verschillende fasen: I, II, III en IV. Fasen I en II omvatten het maken van de compost, en fase III het doorgroeien van de compost. Deze gebeuren bij het composteerbedrijf. Fase IV is de productie van champignons. Voor het maken van compost fase I wordt in Nederland tarwestro uit paardenstallen, gips en water gemengd. Alternatief kunnen tarwestro en kippenmest worden toegevoegd om de gewenste ratio's koolstof/stikstof te bereiken.



**Figuur 4. Een indruk van de paddenstoelensector. Linksboven: een composteertunnel voor de champignonteelt. Rechtsboven: de eerste vlucht van champignons. Linksonder: compost aan het einde van de teelt van champignons. Rechtsonder: de teelt van een exoot.**



De substraatproductie voor exoten in Nederland bedroeg in 2022 ongeveer 10.000 à 12.000 ton oesterzwamsubstraat (zie video van [VeMe](#), substraatproducent). Uitgaande van massaverlies voor de specifieke bereiding van dit substraat is een geschatte 27.500 ton startmateriaal (hoofdzakelijk tarwestro) nodig.<sup>6</sup> Daarnaast produceert men in Nederland zo'n 5000 ton substraat voor andere exoten, gebaseerd op beukenzaagsel, waarvan ~65% voor export.<sup>7</sup> Ook worden zowel substraat als paddenstoelen geïmporteerd vanuit het buitenland. Hiervan zijn cijfers onduidelijk en de landen van herkomst sterk afhankelijk van het soort paddenstoel of substraat dat wordt geïmporteerd.

De hoeveelheid reststromen, met name afgewerkt substraat uit de paddenstoelenteelt is aanzienlijk. Voor champignons gaat het om 800.000 ton *champost*, die deels als organische meststof of bodemverbeteraar wordt verwerkt. Gebruik is echter gelimiteerd vanwege het label 'mest' in combinatie met stikstofdepositie normen.<sup>8,9</sup> Er zijn initiatieven om champost op te waarderen voor export (gedroogd) en in te zetten voor productie van warmte.<sup>10</sup> Afgewerkt substraat van teelt van exoten in Nederland, zo'n 6700 à 7700 ton (geëxporteerd substraat niet meegerekend), wordt ofwel gecomposteerd ofwel direct op land gebracht en ingeplougd. Er zijn aanwijzingen dat afgewerkt substraat een positief effect op ziekte onderdrukking voor planten zou kunnen hebben. Hier lopen een aantal onderzoeken naar en er is in het verleden naar gekeken.<sup>11,12,13,14</sup>

Voor de teelt van champignons is naast compost ook *dekaarde* nodig, dat hoofdzakelijk bestaat uit een mengsel van stortveen, zwartveen, en schuimaarde (afkomstig uit de suikerindustrie, bevat o.a. kalk, organische stof, een heel klein beetje eiwit, fosfor en magnesium).<sup>15</sup> Gezien de negatieve milieu impact, wordt het winnen van veen steeds minder goed mogelijk (steeds meer landen verbieden veenafgraving), en zijn er initiatieven om veenvervangers voor dekaarde te ontwikkelen. Wellicht kunnen materialen uit andere sectoren hierop worden getest, al moet dit eerst kwalitatief gedaan worden voordat eraan gerekend kan worden zoals in deze whitepaper. BVB Substrates produceert elk jaar 430.000 m<sup>3</sup> dekaarde, waarvan 175.000 m<sup>3</sup> voor de Nederlandse markt.<sup>16</sup> De andere grote speler op de markt is Legro, die waarschijnlijk in dezelfde orde van grootte zit als BVB Substrates qua productievolumes.<sup>17</sup> De teelt van exoten in Nederland verloopt zonder aparte dekaarde.

Samenvattend staat de sector voor een aantal uitdagingen, niet alleen om duurzamer te worden, maar ook als gevolg van andere duurzaamheids-inspanningen. Doordat het afgraven van veen uitgefaseerd wordt, zullen er nieuwe materialen gevonden moeten worden voor dekaarde. Ook is de beschikbaarheid van substraten onzeker, doordat biomassa meer ingezet wordt voor andere toepassingen in een economie die zich richt op biobased materialen. Dit leidt tot concurrentie met de paddenstoelensector. Zeker voor exoten geldt dit, omdat materialen voor exotensubstraat de meeste toepassingen hebben. Daarentegen liggen er kansen om reststromen uit de paddenstoelenteelt te verwaarden: champost, maar ook CO<sub>2</sub> en ammoniak.

# Verwaarding van ammoniak uit compostering tot nitraat voor de glastuinbouw

Recirculeren van meststoffen behoort op veel Nederlandse glastuinbouwbedrijven al tot de norm en dit resulteert in een zeer efficiënt gebruik in de kas. De gehele keten is echter nog niet circulair omdat de grondstoffen voor de meeste (kunst)meststoffen afkomstig zijn uit mijnen die op den duur uitgeput zullen raken. Een uitzondering is stikstof, dat uit de lucht kan worden gebonden, maar dit is een energie-intensief proces waarvoor een aanzienlijke hoeveelheid aardgas wordt gebruikt (1000 m<sup>3</sup> per ton ammoniak in Nederlandse fabrieken).<sup>18</sup>

Tegelijkertijd stoot Nederland per hectare vier keer zoveel stikstof uit als het EU-gemiddelde, en is het de bedoeling dat dit omlaag gaat.<sup>19</sup> Er is dus niet alleen een noodzaak om duurzamere bronnen van stikstof te vinden, maar ook om de uitstoot ervan te verminderen.

Vooraf tijdens het fase I en II composteren om substraat te maken voor de champignonteelt komt er ammoniak (NH<sub>3</sub>) vrij dat wordt afgeventileerd. Om te voorkomen dat dit in het milieu terecht komt, wordt de ammoniak uit de lucht gewassen met behulp van scrubbers, waarvan de meest gangbare systemen zwavelzuur gebruiken:<sup>20</sup>



Scrubbers op basis van zwavelzuur produceren ammoniumsulfaat, wat tevens een meststof is die in de glastuinbouw toegepast wordt. Wel wordt in de tuinbouw de meerderheid van stikstof toegediend in de vorm van nitraat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), maar met een bioreactor zou de ammonium/ammoniak omgezet kunnen worden naar nitraat. GreenSwitch® van Van Iperen doet dit al met een bioreactor waaraan kalium toegevoegd wordt, om kaliumnitraat te produceren.<sup>21</sup>

Ammoniakemissies als duurzame bron voor nitraat voor de glastuinbouw klinkt als een concept met veel potentie. Maar komen vraag en aanbod met elkaar overeen? Om die vraag te beantwoorden pakken we er kengetallen bij en kijken we naar het volgende rekenvoorbeeld:

### **Rekenvoorbeeld: Meststof Potentie voor de Nederlandse Tomatenteelt**

In Nederland wordt 240 kt champignons geproduceerd per jaar.<sup>2</sup> Voor een kg champignons kan met een ammoniakscrubber 55 – 71 g ammoniumsulfaat ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) afgevangen worden vanuit het composteringsproces.<sup>22</sup> Dit betekent dat 13,2 – 17,0 kt ammoniumsulfaat vanuit de hele sector zou kunnen worden afgevangen. Deze bevat 2,8 – 3,6 kt stikstof (N) en 3,2 – 4,1 kt zwavel (S).

Per hectare tomatenteelt wordt respectievelijk 1611 kg en 367 kg stikstof en zwavel gebruikt.<sup>23</sup> Dit betekent dat de stikstof afgevangen uit de champignonteelt genoeg is voor 1.740 tot 2.240 ha tomaten, wat aardig overeenkomt met de totale 1.900 ha tomatenteelt in Nederland.<sup>24</sup> Voor zwavel is dit 8.720 tot 11.170 ha; slechts 17-22% van de beschikbare zwavel vanuit ammoniakscrubbers in de paddenstoelenteelt zou dus al genoeg zijn voor de Nederlandse tomatenteelt in kassen.

### **Aandachtspunten**

Er zijn wat aandachtspunten wat betreft het afvangen van ammoniak. Allereerst is er zwavelzuur voor nodig. Gips, wat uit zwavel en calcium bestaat, is een andere mogelijkheid om ammoniumsulfaat te produceren.<sup>25</sup> Hoewel stikstofemissies op dit moment actueel zijn, speelt vanuit een circulariteitsperspectief nog een vraag: “Waar moet het zwavelzuur vandaan komen om al deze ammoniak af te vangen?” Op dit moment komt de meerderheid van zwavelzuur uit de ontzwalling van fossiele brandstoffen, maar als deze minder geproduceerd gaan worden, zou het voornamelijk uit mijnen moeten komen, wat schadelijke effecten voor het milieu zal hebben.<sup>26</sup> Duurzaam teruggewonnen zwavel, bijvoorbeeld uit RWZI's, zou een circulaire input kunnen zijn om ammoniak af te vangen met huidige scrubbersystemen. Jaarlijks komt er 2,4 kt zwavel binnen op de twee RWZI's in Amsterdam.<sup>27</sup> Ook bestaan er een aantal alternatieve technologieën om ammoniak uit de lucht te halen. Velen zetten het om in gassen zoals N<sub>2</sub>, maar systemen gebaseerd op ozon zetten het zelfs direct om in nitraat en hebben geen input nodig behalve de energie om ter plekke ozon te produceren.<sup>20</sup>



## Verwaarding van koolstof uit de paddenstoelenketen tot fossielvrije CO<sub>2</sub> voor de glastuinbouw

De glastuinbouw maakt gebruik van CO<sub>2</sub> als grondstof; het wordt gedoseerd in kassen om de CO<sub>2</sub>-concentratie in de lucht te verhogen waardoor de gewasproductie aanzienlijk toeneemt. In Nederland bedraagt de jaarlijkse vraag naar CO<sub>2</sub> 2,6 miljoen ton.<sup>28</sup> De meeste CO<sub>2</sub> die in de glastuinbouw gebruikt wordt is afkomstig van fossiele brandstoffen. Het gaat dan voornamelijk om CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij de verbranding van aardgas in boilers en warmtekrachtkoppelingen (WKK's) die op het eigen bedrijf staan. Een deel van de glastuinbouw krijgt CO<sub>2</sub> geleverd via een uitgebreid leidingnetwerk. Die CO<sub>2</sub> is gedeeltelijk bijproduct uit de petrochemische industrie en gedeeltelijk afkomstig uit een bio-ethanolfabriek.

Naarmate de energietransitie vordert en het gebruik van fossiele brandstoffen afneemt, neemt ook de productie van CO<sub>2</sub> uit deze bronnen af. Alternatieve bronnen moeten dus worden overwogen als de glastuinbouw gebruik wil blijven maken van CO<sub>2</sub> in de kas. Naar verwachting loopt de jaarlijkse vraag naar externe CO<sub>2</sub> bronnen voor de glastuinbouw op naar 1,8–3,0 miljoen ton tegen 2030.<sup>28</sup>

Tijdens de verschillende fasen van de paddenstoelenteelt komt er CO<sub>2</sub> vrij, omdat organische stoffen in het substraat afgebroken worden. Afhankelijk van de soort paddenstoel, wordt tijdens de teelt de binnenconcentratie CO<sub>2</sub> hoog gehouden, van 800 tot meer dan 3000 ppm, maar afhankelijk van de fase mag dit niet te hoog worden.<sup>29,30</sup> Daarom wordt het afgeventileerd naar de buitenlucht.

Om te bepalen in hoeverre de glastuinbouw van CO<sub>2</sub> uit de paddenstoelenketen kan worden voorzien, is er een rekenvoorbeeld uitgewerkt. Hierin wordt de CO<sub>2</sub> vraag van een glastuinbouwbedrijf dat tomaten teelt vergeleken met de CO<sub>2</sub> productie van de paddenstoelenketen. Per hectare gebruikt de tomatenteelt jaarlijks ongeveer 450 ton CO<sub>2</sub>.<sup>23</sup> Dit getal gebruiken we in het rekenvoorbeeld om CO<sub>2</sub>-productie te vertalen naar hectares tomatenteelt onder glas.

### **Rekenvoorbeeld: CO<sub>2</sub> uit de Compostproductie voor Champignons**

Tijdens fase I, II en III composteren verliest het substraat 30% van zijn drogestof.<sup>31</sup> Ongeveer 50% van deze massa is koolstof (C).<sup>32</sup> Voor elke atoom C die verloren gaat, wordt er één molecuul CO<sub>2</sub> vrijgelaten, wat betekent dat per verloren gram C, er 3,7 gram CO<sub>2</sub> beschikbaar komt. We nemen aan dat alle verloren drogestof organisch materiaal is.

Per kg champignon is 5,2 kg substraatmengsel nodig (waarvan 25% drogestof<sup>33</sup>, 1,3 kg), wat dan naar fase I gaat om gecomposteerd te worden.<sup>22</sup> 30% verlies van drogestof maal 50% koolstof is 0,2 kg C verloren, wat overeenkomt met 0,7 kg CO<sub>2</sub> uitstoot per kg champignon.

Met 240.000 ton champignonproductie in Nederland wordt dus zo'n 174.000 ton CO<sub>2</sub> geproduceerd per jaar. Dit is genoeg voor de productie van 388 ha tomaten. Ter vergelijking heeft de Greenport West-Holland 550 ha aan tomatentelers, en is het totale areaal tomaten onder glas in Nederland 1.900 ha.<sup>24,34</sup>

### **Rekenvoorbeeld: CO<sub>2</sub> uit de Champignonproductie (fase IV)**

Een studie waarin koolstofstromen van champignonproductie zijn bestudeerd, constateerde dat 1.500 g koolstof (C), ofwel 5.550 g CO<sub>2</sub>, wordt afgeventileerd voor 1.250 g vastgelegde koolstof in de champignons.<sup>32</sup> Met een drogestofgehalte van 7,1% en een koolstofgehalte van 43% in champignons, komen we uit op  $5.550 \div 1.250 \times 0,43 \times 0,071 = 135$  g CO<sub>2</sub> uitstoot per kg geproduceerde champignon.<sup>32</sup>

Op 240.000 ton productie in Nederland, betekent dit dat 32.400 ton CO<sub>2</sub> vrijkomt. Dit is genoeg voor maar 72 hectare tomatenteelt, dus aanzienlijk minder dan de CO<sub>2</sub> die uit compostering vrijkomt.

De conclusie uit de rekenvoorbeelden is dat per kg champignon, ongeveer 5 keer zoveel CO<sub>2</sub> wordt vrijgemaakt uit compostering dan uit de productie zelf. Ook is de compostering meer centraal, met grotere volumes op één locatie, wat CO<sub>2</sub> afvang en logistiek vergemakkelijkt. Vergeleken met compostering is de paddenstoelproductie zelf – tenzij een kas toevallig in de buurt zit – een CO<sub>2</sub> bron met weinig potentie.

### **Aandachtspunten**

De aandachtspunten rond CO<sub>2</sub> van de paddenstoelenketen naar de glastuinbouw leveren zijn gerelateerd aan veiligheid en logistiek. De gassen uit composteren bevatten naast CO<sub>2</sub> ook stoffen die risico's brengen voor gewasgezondheid, zoals NO<sub>x</sub>, ethyleen, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S en ammoniak.<sup>35</sup> Deze zullen verwijderd moeten worden.

Ook is de CO<sub>2</sub> uit de paddenstoelenketen lang niet geconcentreerd genoeg om aan de glastuinbouw te leveren. Externe CO<sub>2</sub> wordt óf in flessen geleverd, óf d.m.v. de leidingen van OCAP. Allebei hebben een volumeconcentratie van 99% nodig. Zelfs 3000 ppm CO<sub>2</sub> is maar 0,3%, al is dat aanzienlijk meer dan de huidige buitenconcentratie van 410 ppm (0,04%). Er bestaan veel technieken om CO<sub>2</sub> te concentreren, maar deze brengen kosten met zich mee, wat voor zowel de glastuinbouw- als de paddenstoelensector rendabel moet zijn. Een ander logistiek punt is dat de glastuinbouw door het jaar heen een veranderende vraag aan CO<sub>2</sub> heeft, terwijl de paddenstoelensector een veel constantere stroom produceert. Dit kan opgelost worden met CO<sub>2</sub>-buffers of geconcentreerde afvang en opslag.

Meer weten over de toekomst van CO<sub>2</sub> gebruik in de glastuinbouw? Lees de gedetailleerdere (Engelstalige) whitepaper *Carbon Dioxide Enrichment for Greenhouses in a Decarbonised Future*.

## Verwaarding van restbiomassa uit de glastuinbouw tot substraat voor de paddenstoelenteelt

Aan het einde van een teeltseizoen komt er een reststroom uit de glastuinbouw vrij: stengels en bladeren. Op het moment betalen tuinders om hun restbiomassa af te voeren, ongeveer €100 per ton.<sup>34</sup> Deze restbiomassa bevat echter eiwitten, mineralen, vezels en water. Omdat deze stroom wordt afgevoerd als restafval, worden die bestanddelen nauwelijks benut of verwaard. Volledig en hoogwaardig (her)gebruik van deze restbiomassa zou niet alleen duurzamer zijn, maar zou de teler ook een kostenbesparing kunnen brengen.

De paddenstoelenteeltsector gebruikt al organische reststromen als input. Toch zou de paddenstoelensector er baat bij hebben om alternatieven te vinden. Voor exoten wordt enkel houtige biomassa zoals stro (vooral oesterzwam) of zaagsel (meeste andere exoten) gebruikt. Voor champignons is dit een mengsel van stro en paardenmest. Het gebruik van stro uit de graanteelt wordt alsmaar moeilijker, omdat er bepaalde chemische stoffen worden gebruikt, *halmverkorters*. Deze stoffen komen voor een deel in de paddenstoelen terecht. De toegelaten waarden in stro worden opgehoogd terwijl deze stoffen in paddenstoelen steeds minder zullen mogen voorkomen. Dit is een belangrijke drijfveer voor het zoeken naar alternatieven.

Om te bepalen of restbiomassa uit de glastuinbouw als substraat kan dienen voor de paddenstoelenteelt, geven we hieronder enkele rekenvoorbeelden. Hiervoor zijn een aantal kengetallen nodig. We kijken eerst naar champignons en dan naar oesterzwammen. Al worden de meeste exoten op zaagsel geteeld, is de oesterzwam veruit de meest geproduceerde exoot, en wordt het in Nederland in tegenstelling tot andere exoten op stro geteeld. Tabel 1 geeft een overzicht van de hoeveelheden cellulose en hemicellulose – belangrijke waarden voor paddenstoelsubstraat – in verschillende materialen

**Tabel 1. Een overzicht van de hoeveelheden cellulose en hemicellulose in verschillende materialen; tarwestro, dat voor champignons en oesterzwammen gebruikt wordt, en tomaten- en paprikastengels uit de glastuinbouw.**

Materiaal	Cellulose [% nat]	Hemicellulose [% nat]	Lignine [% nat]	Bron
Tarwestro	33.7-40	21-26	11-23	Khan en Mubeen <sup>35</sup>
	30	50	15	Sun en Cheng <sup>36</sup>
Tomatenstengels	31	12	-	Van Dam et al. <sup>37</sup>
Paprikastengels	31	13	-	Van Dam et al. <sup>37</sup>



### **Rekenvoorbeeld: Substraat voor de Champignonteelt**

Per kg champignons wordt 800 à 1000 g tarwestro gebruikt.<sup>22,36</sup> In Nederland wordt relatief weinig tarwestro als puur ingrediënt direct toegevoegd. De meerderheid wordt toegevoegd als deel van paardenmest. In andere landen wordt tarwestro wél vaker als puur ingrediënt toegevoegd. In ieder geval is tarwestro de enige bron van vezels in het substraat.<sup>22</sup> Als we aannemen dat tarwestro ongeveer voor 80% uit vezels bestaat (nat), hebben we zo'n  $0,8 \times 900 = 720$  g vezels nodig voor 1 kg champignons.

De tomaten- en paprikateelt produceren respectievelijk 70 en 20 kt stengels per jaar.<sup>37</sup> Met de vezelpercentages uit Tabel 1 is dit in totaal 38,9 kt aan vezels (cellulose en hemicellulose). Als dit in de champignonteelt toegepast wordt, kan daaruit 54 kt champignons geoogst worden. Dit is 23% van de jaarlijkse productie van de Nederlandse champignonsector.

### **Rekenvoorbeeld: Substraat voor de Oesterzwammenteelt**

Hoewel er weinig cijfers beschikbaar zijn over de oesterzwammenproductie in Nederland, levert de grootste producent VeMe zo'n 400 ton substraat per week, waarvan de helft aan het buitenland wordt verkocht. Het substraat heeft een vochtgehalte van 65%.<sup>38</sup> Hierdoor is  $200 \times 52 \times 0.35 = 3,6$  kt drogestof aanwezig in de jaarlijkse uitgaande compost. Met gewichtsverliezen tijdens het composteren inbegrepen (ongeveer een derde) is daarvoor 5,4 kt drogestof nodig als input. Totaal, met 15% vocht inbegrepen, is 6,4 kt tarwestro per jaar nodig voor VeMe om aan hun Nederlandse afzetmarkt te leveren.<sup>6</sup>

Oesterzwammen breken lignine af, maar gebruiken het niet voor de groei. Hierdoor gaan we in deze berekening van 65% nuttige vezels uit in tarwestro (Tabel 1), wat neerkomt op 4,2 kt vezels die VeMe nodig heeft. Met de getallen uit Tabel 1 kunnen we berekenen dat 38,9 kt vezels uit de tomaten- en paprikateelt komt, negen keer zoveel als VeMe aan tarwestro gebruikt. Dit laat zien dat de glastuinbouw mogelijk een grote rol kan spelen in de productie van oesterzwammensubstraat.

## Aandachtspunten

Hoewel er in deze whitepaper gerekend is met vezelpercentages uit reststromen, is deze informatie niet afdoende om te verzekeren dat de paddenstoelen er op kunnen groeien. Kwalitatieve aspecten zoals de structuur van het substraat, de waterhoudende capaciteit, beschikbaarheid van de vezels voor de schimmel en eventuele toxische of groeiremmende middelen zijn ook van belang. Dit wordt deels door de voorbewerkings- en composteerprocessen bepaald. Aanvullend experimenteel onderzoek met champignons en exoten is nodig om te bepalen of deze reststromen écht geschikt zijn voor de paddenstoelenteelt.

Voor champignons zal de manier waarop het niet-gecomposteerde mengsel behandeld wordt anders zijn als vezels uit de glastuinbouw gebruikt worden. Omdat de meeste tarwestro in de paardenmest gemengd is, heeft het al vocht opgenomen en is het relatief homogeen. Als vezels pas later aan de mest toegevoegd worden, zal hierop gewacht moeten worden.

Voor de glastuinbouw is een groot knelpunt het gebruik van plastics. In veel groenteteelten wordt het gewas opgehangen met een plastic draad waaraan de plant vastgemaakt wordt met plastic clipjes. Wanneer de kas wordt uitgeruimd na de teelt, worden deze met de restbiomassa gemengd. Daardoor kan deze stroom niet gecompoteerd worden en moeten er oplossingen gevonden worden zodat de tuinbouwreststromen vrij zijn van plastics en andere storende stoffen. Biologisch afbreekbare plastics zijn een andere mogelijkheid, ook op basis van cellulose. Deze zijn op het moment duurder, maar wellicht kan het verkopen van restbiomassa aan de paddenstoelenteelt genoeg inkomsten bieden om dit te rechtvaardigen. Er bestaat ook een plasticvrij alternatief ophangstelsel; [Pellikaan Qlipr](#).

De paddenstoelenteelt oogst tussen de 10 en 12 keer per jaar per teeltcel.<sup>17</sup> Met meerdere teeltcellen kan parallel in fase worden gewerkt, om wekelijks of zelfs dagelijks te kunnen oogsten. Hierdoor is er een relatief constante stroom van substraat nodig. Voor de meeste groenteteelten onder glas blijft het gewas in de kas staan gedurende een jaar. Alleen tijdens de teeltwissel worden de oude plantresten (stengels) verwijderd. Hierdoor zal restbiomassa uit de glastuinbouw maar een deeloplossing zijn voor de benodigde biomassa op paddenstoelenbedrijven. Een mogelijke oplossing is het opslaan van restbiomassa zodat na de 'oogst', het gebruik beter verdeeld kan worden over de tijd. Ook bestaan er concepten zoals [Certhon Gronos](#), waarin continu nieuwe tomatenplantjes in en uit het systeem gaan, zoals bij bladgroenten.<sup>39</sup>

Deze oplossingen vragen meer van een teler wat betreft planning en de huidige werkwijze vereist aanpassingen. Daar staat tegenover dat voor telers hun restbiomassa waarde krijgt. Aangezien composteerders niks betalen voor hun grondstoffen, of hooguit de kosten van het ophalen, is het de vraag of telers geld kunnen krijgen voor hun reststromen, maar een vermindering van afvoerkosten voor de teler zou mogelijk kunnen zijn.

## **Benieuwd geworden?**

Door de kansen en de knelpunten van een cross-over tussen glastuinbouw en paddenstoelenteelt te schetsen willen we met stakeholders in dialoog komen. Wij zien kansen voor deze cross-over als bijdrage aan een duurzaam, circulair voedsel-productiesysteem. Het is onze ambitie om de gesignaleerde knelpunten van deze cross-over op te lossen en de kansen als verdienmodel voor bedrijven te realiseren. Hiervoor willen we een consortium oprichten voor gerichte R&D in een publiek private samenwerking. Het doel van zo'n samenwerking is het oplossen van de knelpunten, het toepassen, toetsen en valideren van de ontwikkelde oplossingen in een pilot, en de realisatie van faciliteiten die bijdragen aan een circulaire economie.

Bent u geïnteresseerd in de kansen van cross-overs? Neem contact op met ons op via [glastuinbouw@wur.nl](mailto:glastuinbouw@wur.nl)

### **Auteurs**

Alexander van Tuyll<sup>1</sup>, Arend van Peer<sup>2</sup> en Francisco Mondaca Duarte<sup>1</sup>

### **Peer review**

Alexander Boedijn<sup>1</sup> en Johan Baars<sup>2</sup>

### **Samenwerking**

<sup>1</sup> Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw

<sup>2</sup> Wageningen Plant Research, Plant Breeding, Mushroom Research



## Bronvermelding

1. CBS StatLine. (2021). *Tuinbouw onder glas*. Retrieved from: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81302ned/table?dl=6BCD5>
2. LTO Noord. (2022). *Paddenstoelen*. Retrieved from <https://www.ltonoord.nl/sector/paddenstoelen>
3. European Mushroom Growers' Group. (2019). Infochampi. Retrieved from <http://www.infochampi.eu/>
4. Boon, J. K. (2017). *Factsheet champignons*. Retrieved from <http://www.fruitandvegetablefacts.com/sites/default/files/Factsheet%20CHAMPIGNONS%20mei%202017%20site.pdf>
5. Boon, J. K. (2020). *Factsheet mushrooms: Internationale handel champignons (vers en conserveren) eerste helft dit jaar verder gekrompen*. Retrieved from <https://wageningenur4.sharepoint.com/sites/MycoPonics/Gedeelde%20documenten/General/Literature/AFvP/Literatuur/Refs%20for%20whitepaper/Factsheet%20MUSHROOMS%20november%202020%20site.pdf?CT=1667464567273&OR=ItemsView>
6. VeMe Specials BV (2022).
7. CNC Exotic Mushrooms (2022).
8. Joppen, L. (2015). Verwaardig van champost: van rode naar zwarte cijfers. *Agro & Chemie*. Retrieved from <https://www.agro-chemie.nl/artikelen/van-rode-naar-zwarte-cijfers/>
9. Verkerk, H. A. C. (2015). *Handleiding Mestwetgeving 2015*. Retrieved from Nijkerk:
10. Kasteren, J. v. (2014). Opwaarderen champost levert bruikbare warmte. *Agro & Chemie*. Retrieved from <https://www.agro-chemie.nl/artikelen/opwaarderen-champost-levert-bruikbare-warmte/>
11. van Geel, W., de Haan, J., Hanegraaf, M., & Postma, R. (2019). *Doorontwikkeling classificatieschema organische-stofrijke meststoffen: Deskstudie in het kader van de PPS Beter Bodembeheer/effecten van organische stof*. Retrieved from
12. Postma, J., Jansen, S., Franssen, M., Schilder, M., Visser, J., Bloem, J., & Korthals, G. (2022). Kringloop organische stof én bodemweerbaarheid bevorderen-Kennis uit projecten LWV19166 & KB-34-008-001.
13. Rotering, A., de Haan, J., Postma, J., Elferink, E., van der Werff, P., & Oosterkamp, P. (2022). *Organische stof: breng leven: Een praktische handleiding voor organische stofbeheer: Een praktische handleiding voor organische stofbeheer*.

14. Streminska, M., Breeuwsma, S., Huisman, H. M., de Vos, R., van Eekelen, H., Stevens, L., & van der Salm, C. (2020). *Green Challenges: plant en bodemweerbaarheid tegen ondergrondse ziekten*. Retrieved from
15. BVB Substrates. (2022). Mushrooms. Retrieved from <https://www.bvb-substrates.nl/mushrooms-substraat/>
16. Kekkilä BVB. (2022). Futuristic fungiculture in the Netherlands. Retrieved from <https://www.kekkila-bvb.com/article/futuristic-fungiculture-in-the-netherlands/>
17. Baars, J. (2022).
18. Meststoffen Nederland. (2015). Productie van minerale meststoffen in Nederland. In.
19. Milieu Centraal. (2022). Stikstof. Retrieved from <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/milieuproblemen/stikstof-in-de-lucht-en-bodem/>
20. Bejan, D., Graham, T., & Bunce, N. J. (2013). Chemical methods for the remediation of ammonia in poultry rearing facilities: A review. *Biosystems Engineering*, 115(3), 230-243. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.03.003>
21. Van Iperen. (2022). <https://www.vaniperen.com/greenswitch/the-greenswitch-nitrate-factory/>. Retrieved from <https://www.vaniperen.com/greenswitch/the-greenswitch-nitrate-factory/>
22. Zisopoulos, F. K., Becerra Ramírez, H. A., van der Goot, A. J., & Boom, R. M. (2016). A resource efficiency assessment of the industrial mushroom production chain: the influence of data variability. *Journal of Cleaner Production*, 126, 394-408. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.066>
23. van Tuyll, A., Boedijn, A., Brunsting, M., Barbagli, T., Blok, C., & Stanghellini, C. (2022). Quantification of material flows: A first step towards integrating tomato greenhouse horticulture into a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134665. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134665>
24. Eurostat. (2022). *The tomato market in the EU: Vol. 1: Production and area statistics*. Retrieved from
25. Brienza, C., Regelink, I., van Puffelen, J., Dedeyne, H., Giordano, A., Schepis, M., . . . Sigmund, I. (2021). *Factsheets of five large-scale anaerobic digesters applying nutrient recovery and reuse: A product from the H2020 project SYSTEMIC*. Retrieved from
26. Maslin, M., Van Heerde, L., & Day, S. (2022). Sulfur: A potential resource crisis that could stifle green technology and threaten food security as the world decarbonises. *The Geographical Journal*.
27. Roest, K., Oesterholt, F., de Buijzer, E., van den Brand, T., Versteeg, E., & Hofman, J. (2015). *Terugwinnen van energie en grondstoffen in de regio*

*Amsterdam*. Retrieved from [http://api.kwrwater.nl/uploads/2016/12/BTO-2015.209\(s\)-Terugwinnen-van-energie-en-grondstoffen-in-de-regio-Amsterdam.pdf](http://api.kwrwater.nl/uploads/2016/12/BTO-2015.209(s)-Terugwinnen-van-energie-en-grondstoffen-in-de-regio-Amsterdam.pdf)

28. van der Velden, N., & Smit, P. (2019). *CO2-behoefte glastuinbouw 2030*: Wageningen Economic Research.
29. Chwietczuk, P., Siarnowski, M., & Lipiński, S. (2020). Optimizing mushroom cultivation process-concepts for control and monitoring system. *Agricultural Engineering*, 24.
30. Wildschut, J. (2021). *Energiebalans Champignon Productiecel: Een kwantitatieve verkenning*. Retrieved from <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/544655>
31. Sonnenberg, A. S., Baars, J. J., Straatsma, G., Hendrickx, P. M., Hendrix, E., Blok, C., & van Peer, A. (2022). Feeding growing button mushrooms: The role of substrate mycelium to feed the first two flushes. *Plos one*, 17(7), e0270633.
32. Blok, C., Elings, A., Sonnenberg, A., Amsing, J., Nederhoff, E., & Khodabaks, M. (2011). *Balansen voor substraat in de champignonteelt. Metingen per laag en in de tijd*. Retrieved from
33. Sharma, H., Lyons, G., & Chambers, J. (2000). Comparison of the changes in mushroom (*Agaricus bisporus*) compost during windrow and bunker stages of phase I and II. *Annals of applied biology*, 136(1), 59-68.
34. Kemmers, W. (2022).
35. Al-Rumaihi, A., McKay, G., Mackey, H. R., & Al-Ansari, T. (2020). Environmental Impact Assessment of Food Waste Management Using Two Composting Techniques. *Sustainability*, 12(4). doi:10.3390/su12041595
36. Griensven, L. J. L. D. V. (1987). *De teelt van champignons*. Milsbeek: Coöperatieve Nederlandse champignonkwekersvereniging.
37. Renewi (2022).
38. Oei, P., & Nieuwenhuijzen, B. v. (2005). *Small-scale mushroom cultivation: Agromisa/CTA*.
39. Certhon. (2022). Gronos. Retrieved from <https://certhon.com/nl/gronos-tomaten/>



## Beeldmateriaal

“Champignons growing on a mushroom farm. Mushroom production industry”  
door Kartinkin77/Shutterstock.com

“Verschillen tussen lineaire, keten- en circulaire economie” door de Raad voor de leefomgeving en infrastructuur uit het rapport Circulaire Economie: van wens naar uitvoering (2015)

“Aerial view of greenhouse in fields Netherlands” door Aleksei Kazachok/Shutterstock.com

“Glastuinbouw in de circulaire economie” door Wageningen University & Research in samenwerking met JAM Visual Thinking

Verscheidene beelden van de teelt van champignons en exoten via Johan Baars (Mushroom Research, Plant Breeding, Wageningen Plant Research)