

WHITEPAPER

Cross-overs in de Kringlooplandbouw: Glastuinbouw & Aquacultuur



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Over deze Whitepaper

Cross-overs in de Kringloplandbouw: Glastuinbouw & Aquacultuur

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 aquacultuur sectoren. Het onderzoeken van cross-overs tussen teeltsystemen en/of industriële processen is een van de verkenningsroutes in de transitie naar kringloplandbouw; 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 en Wageningen Food & Biobased Research. Andere whitepapers binnen deze serie zijn:

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

Voor meer informatie of feedback kunt u de website www.wur.nl/glastuinbouw bezoeken of contact opnemen via: 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.

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.

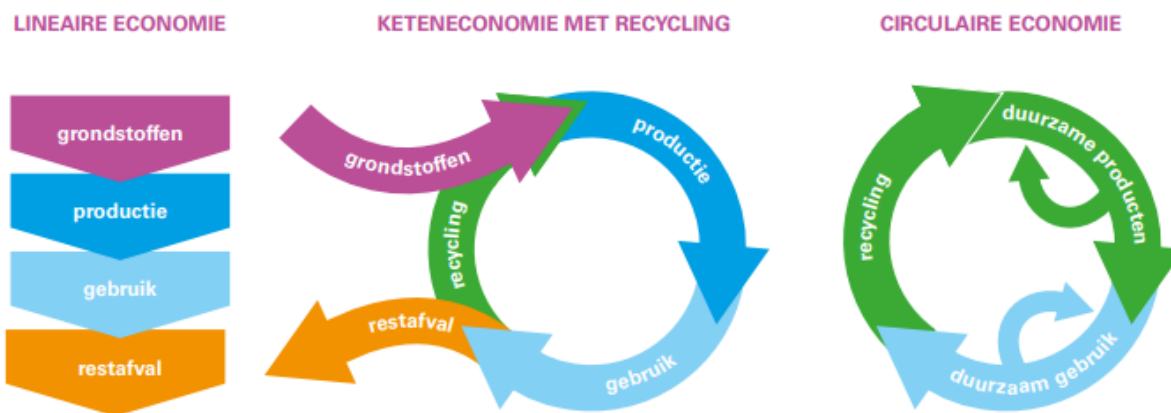
Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

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
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 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 verward 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 daaruit 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 **aquacultuur**. De cases die na een verkennende fase zijn geselecteerd voor uitwerking in deze whitepaper zijn:

- Efficiënter omgaan met water door cascadering en gedeelde infrastructuur
- Verwaarding van afvoerwater en slib uit de aquacultuur tot meststoffen voor de glastuinbouw
- CO₂ uit de aquacultuur doseren in de glastuinbouw

Glastuinbouw

In 2020 telde de Nederlandse glastuinbouw 3.660 bedrijven met een totaal oppervlak van 10.080 ha aan kassen.¹ 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.

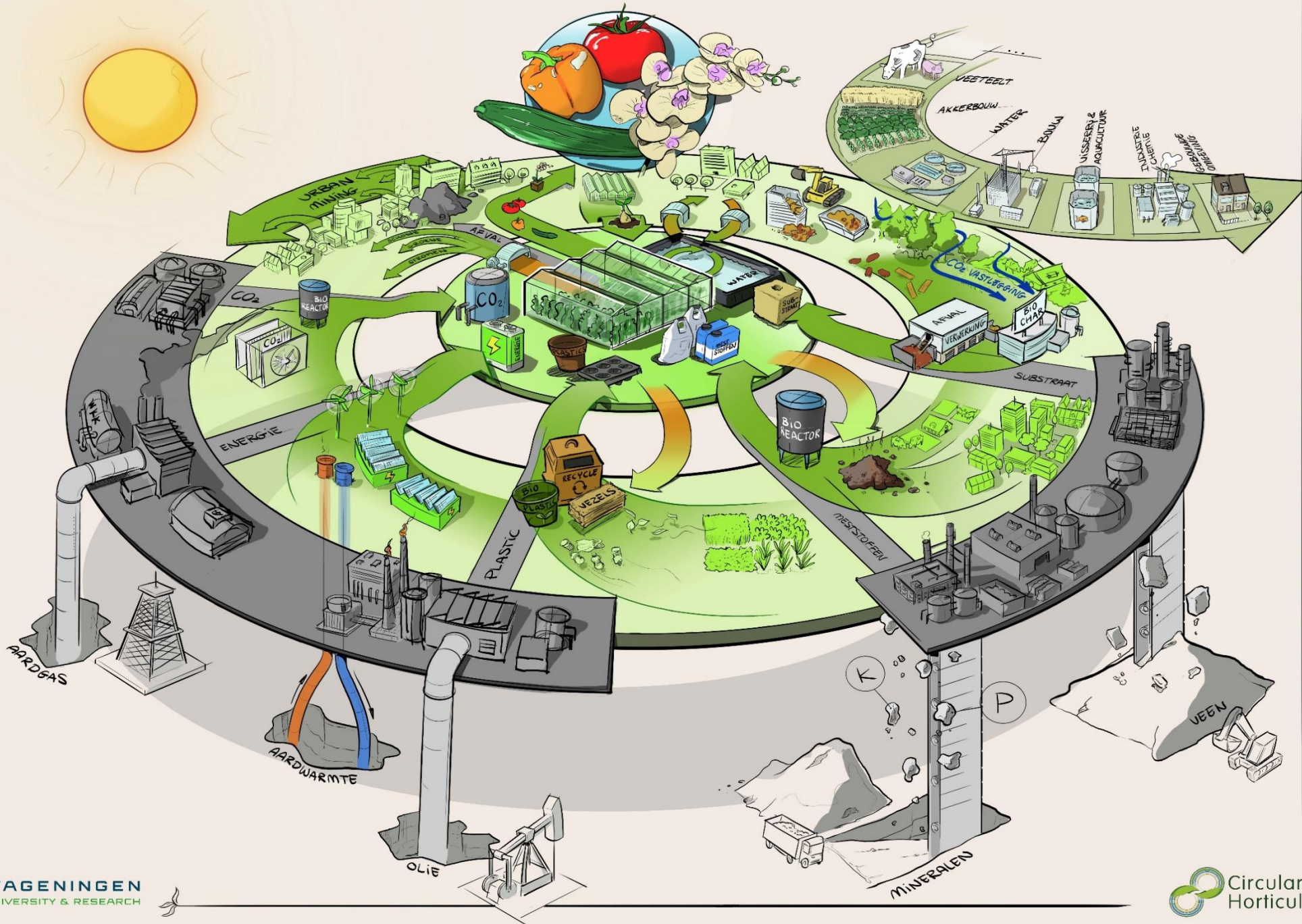


Figuur 2. Luchtfoto van een glastuinbouwbedrijf in Nederland.

Voor zes kenmerkende materiaalstromen 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 water, meststoffen, CO₂, substraat, plastics en biomassa. 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

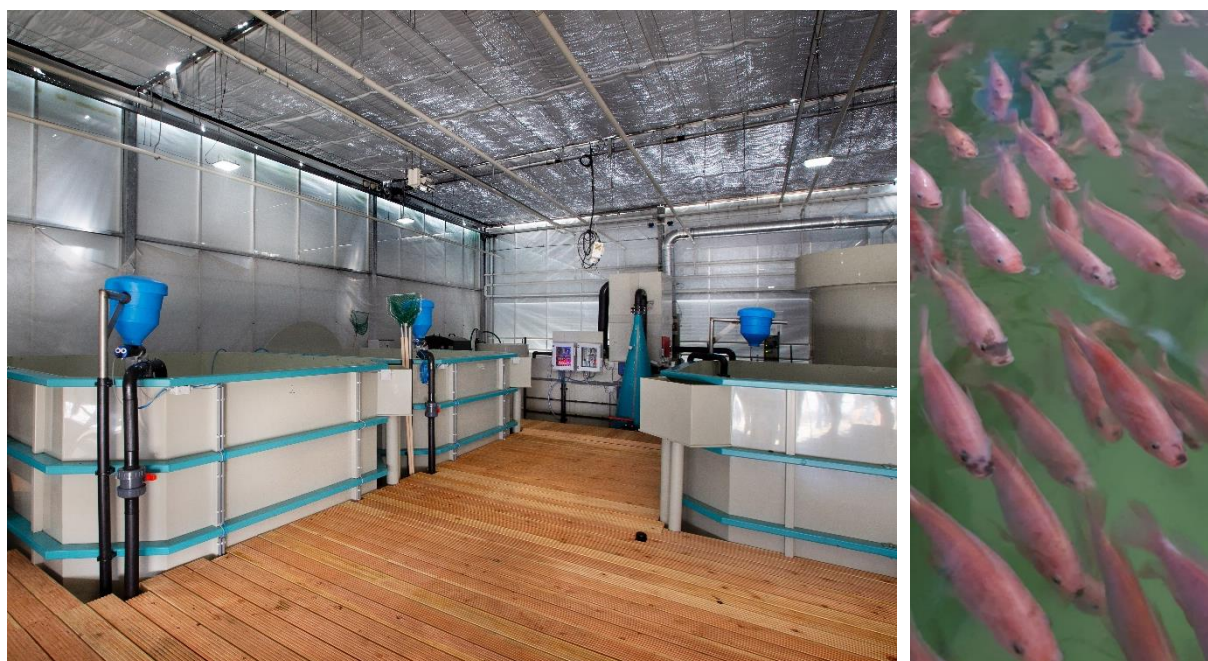
EFFICIËNT, SCHOON EN VERBONDEN



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.

Aquacultuur

De wereldwijde consumptie van vis is tussen 1990 en 2018 met 122% gestegen naar een nieuw record van 156 miljoen ton per jaar. Sinds 2016 komt het merendeel van deze vis uit de aquacultuur sector en niet meer vanuit de visserij (wildvangst). Aquacultuur is de teelt van waterdieren, waaronder vissen, schaaldieren en weekdieren, maar ook waterplanten (zoals algen en wieren) in een natuurlijke of gecontroleerde mariene- of zoetwateromgeving.² In 2020 telde de Nederlandse viskweek sector 25 kwekers die in totaal iets meer dan 5 kiloton aan consumptievis produceerden. Hiervan is het grootste aandeel paling, claresse en meerval, maar ook snoekbaars, tilapia, tarbot en yellowtail worden gekweekt.³ Aquacultuur-systemen op het land kunnen min of meer worden onderverdeeld in drie verschillende typen: vijvers, doorstroomsystemen en recirculerende aquacultuur systemen. In Nederland wordt veel gebruik gemaakt van recirculerende aquacultuur systemen, ook wel afgekort tot RAS.



Figuur 4. Tilapia in onderzoeksfaciliteiten voor de combinatie tussen RAS en hydroponics.

In een RAS wordt verschillende biologische en mechanische filtratie-, desinfectie- en beluchtingsapparatuur toegepast zodat het kweekwater voortdurend hergebruikt kan worden terwijl de kwaliteit van het water optimaal blijft voor de vis. Deze intensieve systemen bereiken een extreem laag waterverbruik en bovendien heeft een RAS de voordelen van een productie onder gecontroleerde omstandigheden en is daarom beter beschermd tegen risico's van buitenaf zoals vervuiling en pathogenen. Daarnaast biedt het systeem de mogelijkheid om de productiviteit en voerefficiëntie te optimaliseren, met een beperkt landgebruik. Toch is een RAS geen volledig gesloten systeem en bestaan er nog uitdagingen om tot een circulaire bedrijfsvoering te komen. Zo produceert een RAS afvoerwater, slib en CO₂. Daarnaast is de sector hard op zoek naar duurzame visvoeding die minder afhankelijk is van vismeel of visolie. De verwachting is dat de wereldwijde vraag naar vis blijft groeien en dat verdere ontwikkeling van aquacultuur, en met name RAS, een belangrijke rol speelt in de duurzame productie daarvan. Binnen deze ontwikkeling staan het verminderen van milieu-impact en het terugdringen van overbevissing centraal.^{2,4}

Van hydroponics en RAS naar aquaponics?

Hydroponics

Een praktijkvoorbeeld van circulariteit is *hydroponics*; het meest gangbare teeltsysteem in de Nederlandse glastuinbouw. Hierin staat het gewas niet meer in de volle grond maar wordt deze op een substraat geteeld. In het gietwater voor de planten worden vloeibare meststoffen opgelost en vervolgens wordt de voedingsoplossing toegediend via druppelaars. Door de voedingsoplossing regelmatig te monitoren kunnen eventuele tekorten aan specifieke elementen worden aangevuld en kan de groei gestuurd worden afhankelijk van het ontwikkelingsstadium van de plant. Het water en de meststoffen die na irrigatie niet zijn opgenomen door de planten kunnen worden opgevangen en hergebruikt. Dit bespaart tot wel 50% water en 60% meststoffen vergeleken met open, lineaire teeltsystemen.⁵ Het voedingswater in een kas wordt dus al zo veel mogelijk gerecirculeerd en samen met de overheid heeft de sector het doel gesteld om in 2027 *emissieloos* te telen; (nagenoeg) geen uitstoot meer van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen naar het milieu.⁶

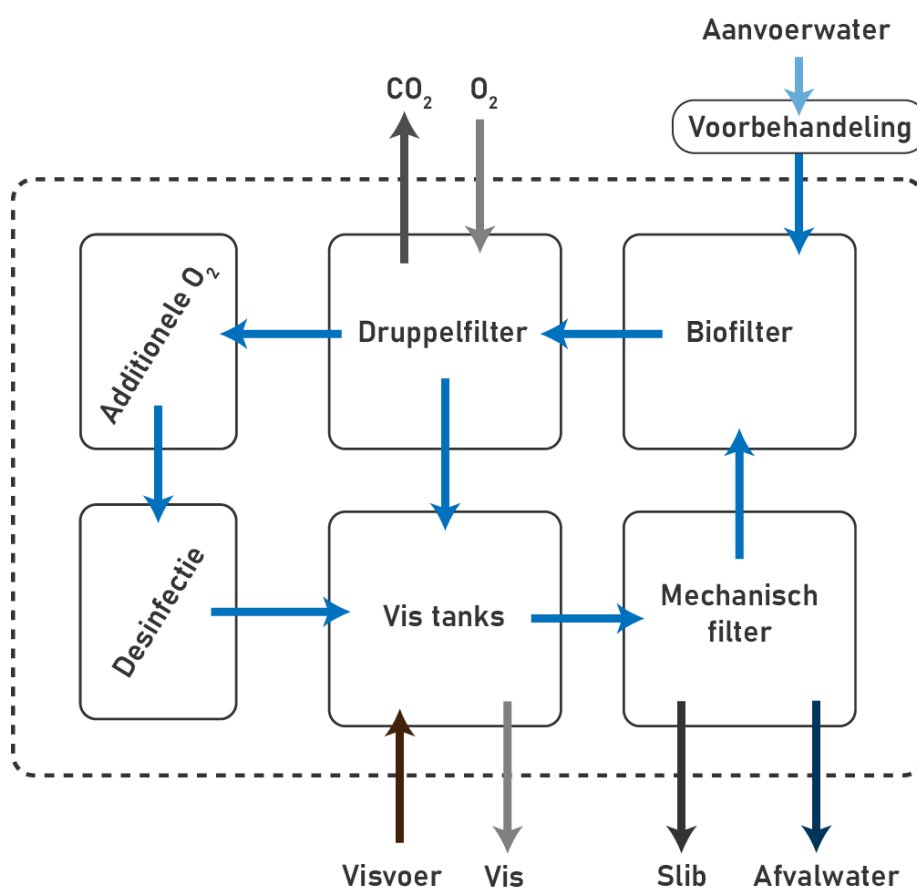


Figuur 5. Komkommer op substraat in een hogedraadteelt.

Recirculerend aquacultuur systeem (RAS)

Een RAS is, net als een kas, een voedselproductiesysteem waarin waterbehandeling en -hergebruik plaatsvindt. Door gebruik te maken van een RAS kan het waterverbruik extreem laag worden gehouden, tot zelfs 0,15 m³ water per kg geproduceerde vis. Daarmee is een intensieve RAS het meest water efficiënte dierlijke voedselproductiesysteem dat momenteel beschikbaar is.^{7,8} Ook in vergelijking tot andere aquacultuursystemen op land zoals vijvers en doorstroomsystemen is een RAS het meest water efficiënt. Vijversystemen moeten aan het begin van de productiecyclus worden gevuld en vervolgens worden aangevuld met water om verdamping en kwel te compenseren. Afhankelijk van het type vijver, het aantal productiecycli per jaar, de teeldichtheid van de dieren en natuurlijk het klimaat, varieert het watergebruik van een vijver van 1 tot wel 45 m³ per kg geproduceerde vis.⁶ In een doorstroomsysteem stroomt vers water naar binnen (vaak door betonnen kanalen) en wordt het na eenmalig gebruik afgevoerd om de uitwerpselen, vismetabolieten en het niet-opgegeten voer uit het systeem te verwijderen. Het watergebruik van een doorstroomsysteem varieert van 30 tot 50 m³ per kg vis en is vergelijkbaar met het watergebruik van een extensieve vijverteelt.^{7,9}

In het schema van figuur 6 staat de opbouw van een RAS weergegeven. De vis wordt gehouden in een apart kweekgedeelte (vaak zijn dit tanks) en wordt gevoerd met speciale voeders. De vissen gebruiken zuurstof (O₂), produceren ammonium (NH₄⁺), koolzuurgas (CO₂) en door ontlasting zwevende en vaste delen (slib). Een mechanisch filter verwijdert de zwevende en vaste delen. Het volgende filter, het biologisch filter, zet het ammonium (NH₄⁺) via nitriet (NO₂⁻) om in nitraat (NO₃⁻). Door beluchting in het druppelfilter behoudt het water voldoende zuurstof en wordt het koolzuurgas verwijderd, waarna het kweekwater weer wordt teruggeleid naar het kweekgedeelte en de cirkel rond is. Optioneel kan er apparatuur worden geïnstalleerd om extra zuurstof toe te voegen of desinfectie (zoals ozon of UV) toe te passen.



Figuur 6. Schematische weergave van een RAS.

Toch is de kringloop niet helemaal gesloten omdat er met regelmaat water geloosd moet worden. Dat komt omdat nitraat (NO₃⁻) zich ophoopt in een RAS naarmate er meer gevoerd wordt. Om de vis gezond te houden moet de nitraatconcentratie niet te hoog oplopen. Ook het slib dat wordt afgevangen is voor de meeste aquacultuur bedrijven een afvalstroom waarvan de afvoer op het riool kosten met zich meebrengt.

Aquaponics

Dit is waar *aquaponics* om de hoek komt kijken. Aquaponics is een cross-over productiesysteem met als deelsystemen een hydroponic plantenteelt en een visteeltsysteem. Er bestaan verschillende manieren om deze twee teeltsystemen aan elkaar te koppelen, maar om zowel voor de planten als de vissen optimale leefomstandigheden te creëren, is een zogenaamd (semi-)ontkoppeld aquaponic systeem het meest geschikt. In zo'n ontkoppeld concept recirculeert elk deelsysteem het eigen water, maar het nitraatrijke afvoerwater van het RAS wordt aangeleverd bij de kas in plaats van het af te voeren naar riool of milieu. Hoewel te veel nitraat in de visteelt voor problemen kan zorgen, is het een essentiële meststof voor planten en zonde om weg te gooien. Er zijn ook technieken beschikbaar om andere meststoffen zoals fosfaat uit het slib van het RAS te halen en beschikbaar te maken voor gebruik in de kas.

Een belangrijk aspect van een ontkoppeld aquaponic systeem is dat het voedingsrijke water van de visteelt eerst kan worden voorbehandeld voordat het in de kas gebruikt wordt. Zo kunnen meststoffen worden toegevoegd die het gewas nodig heeft, maar ontbreken of onvoldoende aanwezig zijn in het afvoerwater van het RAS. De pH kan gecorrigeerd worden. Het water kan belucht worden. En indien nodig kan het water ontsmet worden (met bijvoorbeeld UV) en gefilterd om kleine zwevende deeltjes te verwijderen. Het water dat uiteindelijk in de kas gebruikt wordt voor irrigatie gaat niet meer retour naar het RAS aangezien het watersysteem van de kas al gebouwd is op recirculatie.

Dat dit concept en de benodigde kennis gereed zijn voor de praktijk, bewijzen Tomato Masters en Omegabaars (zie figuur 7). Twee op zichzelf staande bedrijven gelegen in België, de ene een tomatenkweker en de ander een viskweker, die elkaar gevonden hebben in een circulaire aanpak wat betreft energie, water en meststoffen. Op 1 oktober 2018 werd de kraan opgedraaid tussen beide bedrijven; de viskwekerij maakt nu gebruik van het regenwater dat wordt opgevangen met het kasdek en het nutriëntrijke afvoerwater van de vissen wordt hergebruikt als voedingswater voor de tomatenplanten. De viskwekerij heeft een oppervlakte van 2.600 m² en een maximale productiecapaciteit van 200 ton per jaar.¹⁰ De huidige besparing van meststoffen bedraagt tegen de 15% voor de tomatenkas van 10,5 hectare.¹¹ Bovendien wordt het viswater niet meer geloosd op oppervlaktewater of riool. De realisatie van het project werd gesteund door ontwikkeling van de benodigde (praktijk)kennis door het Provinciaal Proefcentrum voor de Groenteteelt Oost-Vlaanderen.

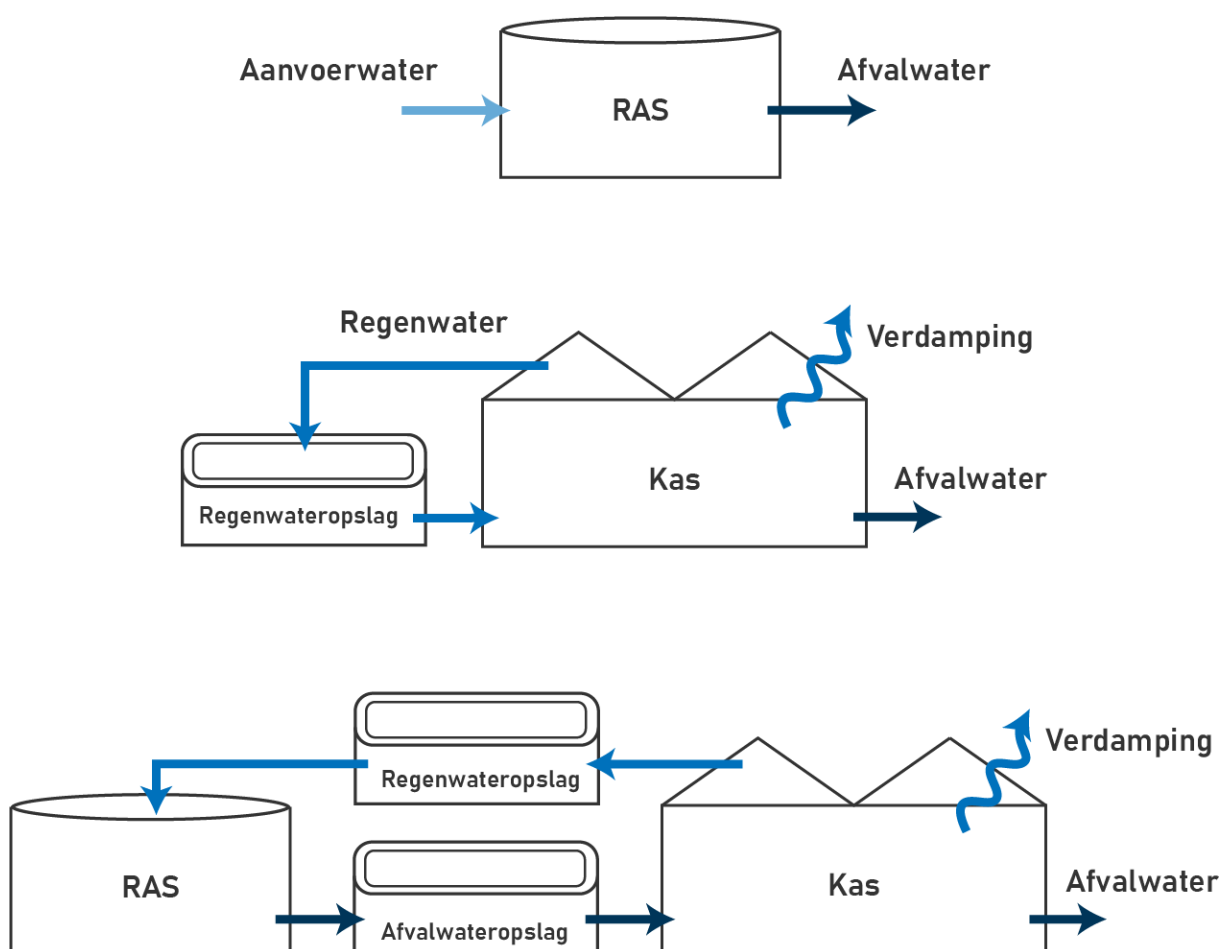


Figuur 7. De bedrijven Tomato Masters en Omegabaars (Luchtfoto verkregen van Tomato Masters).

Efficiënter omgaan met water door cascadering en gedeelde infrastructuur

Water is zowel voor de glastuinbouw als voor de aquacultuur van essentieel belang. Beide productiesystemen hebben als voorwaarde dat er niet alleen voldoende water beschikbaar is, maar ook van de juiste kwaliteit. Zelfs in Nederland, waar gemiddeld 873 mm neerslag valt per jaar, staat de beschikbaarheid van zoetwater onder druk.¹² Klimaatverandering speelt daarin een rol omdat zware neerslag en langere perioden van droogte meer voorkomen.¹³ Hierdoor wordt de huidige capaciteit van regenwateropvang minder toereikend. Daarnaast wordt het gebruik van grondwater steeds kritischer door de wettelijke beperkingen op brijnlozing en knelpunten zoals de bijdrage aan bodemdaling en verzilting.¹⁴ Voor beide sectoren is efficiënt en duurzaam watergebruik dus van groot belang. Een koppeling van waterstromen tussen RAS en kas zou hier aan kunnen bijdragen.

Hoe deze koppeling water kan besparen is geïllustreerd aan de hand van figuur 8. Een op zichzelf staande RAS gebruikt simpel gezegd vers aanvoerwater en produceert afvoerwater. Hoeveel water een RAS nodig heeft, ligt aan de kwaliteit van het aanvoerwater, het systeemontwerp en de soort vis die wordt gekweekt. De verversing van het circulerende kweekwater is gebaseerd op de nitraatconcentratie in het water; boven een bepaalde concentratie (afhankelijk van de gekweekte vissoort) wordt nitraatrijk water afgevoerd.



Figuur 8. Schematische weergave koppelen van waterstromen tussen RAS en kas.

Een op zichzelf staande kas (in Nederland) voorziet voor een groot deel in eigen watervraag door regenwater op te vangen via het kasdek en op te slaan in een regenwaterbassin. Het overgrote deel van het gebruikte water (>80%) verlaat de kas via de luchtramen als waterdamp als gevolg van verdamping door het gewas.¹⁵ Slechts een klein aandeel van het water wordt geloosd als afvoerwater (<5%), bijvoorbeeld om ophoping van natrium te voorkomen.¹⁶ De sector timmert aan de weg om ook dit laatste deel looswater te voorkomen.⁶

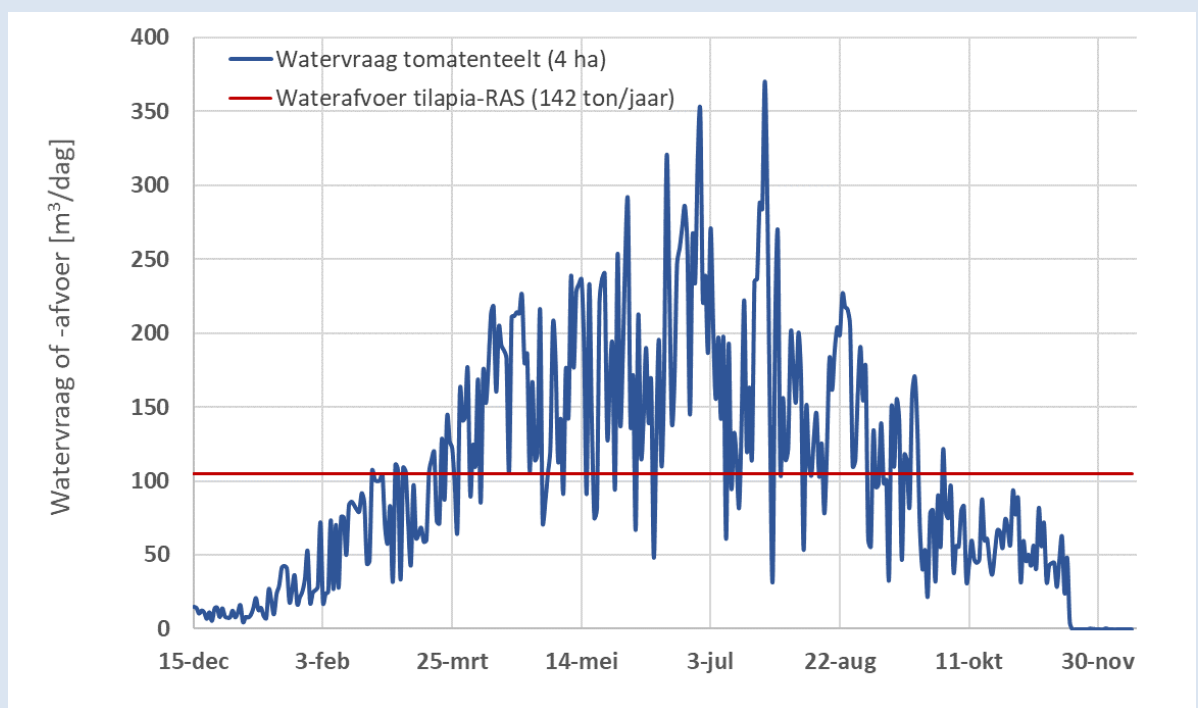
In een koppeling van RAS en kas wordt het regenwater dat de kas opvangt, eerst gebruikt door de RAS om vis in te kweken en daarna gebruikt als voedingswater voor het gewas in de kas. Beide systemen maken dus gebruik van hetzelfde water via cascadering; als de nitraatconcentratie in het viswater toeneemt tot de grenswaarde is het water niet meer geschikt voor de vissen, maar nog wel bruikbaar voor de planten. Naast dat dit concept water bespaart, hoeft de glastuinder ook minder meststoffen toe te voegen aan het voedingswater. Hoeveel water er wordt bespaard hangt af van de mate waarin watervraag en wateraanvoer van beide systemen op elkaar kunnen worden afgestemd. Daarvoor kijken we naar het volgende rekenvoorbeeld:

Rekenvoorbeeld Tomaat & Tilapia in Nederland

Voor deze whitepaper is een rekenvoorbeeld uitgewerkt om de potentie te schetsen van een cross-over tussen een tomatenteelt en tilapia-kwekerij. In dit voorbeeld is het uitgangspunt een Nederlandse teler met een onbelichte tomatenteelt die een kas heeft van 4 ha. De koppeling met de tilapia-kwekerij is gedimensioneerd op basis van het watergebruik in de kas. Hierbij is in eerste instantie van uitgegaan dat de RAS al het water voor de kas levert. De kas heeft een watervraag van 9.550 m³ per ha per jaar. Dit komt neer op een gemiddelde van iets minder dan 105 m³ per dag voor 4 ha.

De teelt van tilapia in RAS vindt plaats als een continu proces gedurende het hele jaar. Een systeem dat 105 m³ water per dag kan verversen, geeft de viskweker de mogelijkheid om de tilapia 488 kg voer te voeren per dag.* De aangenomen voederconversie in dit voorbeeld is 1,25. Wat wil zeggen dat met 1,25 kg voer, 1 kg vis gekweekt kan worden. Met deze hoeveelheid voer kan er dus 488/1,25 ≈ 390 kg vis per dag worden geproduceerd, of wel zo'n 142 ton per jaar.

Om optimaal gebruik te maken van de koppeling tussen RAS en kas, is wateropslag van belang. In onderstaande grafiek (figuur 9) is goed te zien dat de watervraag van een tomatenteelt sterk varieert gedurende de teeltperiode terwijl de tilapia-kwekerij een vrijwel constante waterafvoer heeft.



Figuur 9. Watervraag tomatenteelt (4 ha) en waterafvoer tilapia-RAS (142 ton/jaar) gedurende de teeltperiode van een onbelichte tomatenteelt.

Zonder waterbuffer kan de kas volgens onze berekeningen 69% van het afvoerwater van het RAS hergebruiken. Aangezien in dit voorbeeld de jaarlijkse waterafvoer van de RAS gelijk is aan de jaarlijkse watervraag van de kas, komt deze hoeveelheid hergebruikt water overeen met 69% van de watervraag van de kas. Stel dat er een opslag van 2.000 m³ beschikbaar is (voor de 4 ha kas) om water te bufferen, dan kan 76% van het water hergebruikt worden. En bij een opslagcapaciteit van 4.000 m³ neemt het hergebruik toe tot 82%.

Het realiseren van de benodigde wateropslag brengt uiteraard een investering met zich mee en er moet genoeg ruimte zijn. Daartegenover staat dat kassen in Nederland al beschikken over bassins voor de opslag van regenwater; het wettelijk minimum is 500 m³/ha en naar schatting is de gerealiseerde capaciteit vaak hoger.¹³ Voor de koppeling tussen RAS en kas kan er dus naar de bestaande infrastructuur gekeken worden om deze aan te passen of uit te breiden zodat er genoeg (regen)water is voor de RAS, en afvoerwater voor de kas.

Door benutting van deze cross-over tussen glastuinbouw en aquacultuur zou de productie van voedsel per m³ water aanzienlijk kunnen toenemen. In tabel 1 staat de toename uitgedrukt in totale productie van voedsel maar ook als toename van droge stof, eiwit en vet per m³ water om te laten zien dat de vis een grote bijdrage levert aan de productie van eiwitten en voor de mens essentiële vetzuren. De toename in productie is berekend t.o.v. een op zichzelf staande tomatenteelt en gaat uit van 82% hergebruik van het afvoerwater van de tilapia-kwekerij. Opvallend is de hoeveelheid eiwitten en vet die 3 kg tilapia bevat t.o.v. 70,6 kg tomaat.

Tabel 1. Berekende productie van voedsel, droge stof, eiwit en vet in kg/m³ water.

	Voedsel	Droge stof ²¹	Eiwit ²¹	Vet ²¹
Tomaat	70,6 ²⁰	4,3	0,71	0,14
Tilapia	3,0	0,71	0,54	0,14
Totaal	73,6	5,0	1,25	0,28
Toename	4,2%	17%	76%	100%

* Voor de berekeningen in het voorbeeld is aangenomen dat alle NH₄-N wordt omgezet in NO₃-N en dat denitrificatie, het proces waarbij bacteriën nitraat omzetten in stikstof (N₂), geen significante rol speelt. Verder wordt in deze whitepaper een conservatieve maximaal toelaatbare nitraatconcentratie aangehouden van 750 mg/l terwijl tilapia waarden tot wel 1.500 mg/l accepteert.¹⁷ 750 mg/l nitraat is omgerekend iets meer dan 12 mmol/l; een concentratie die dicht bij de gewenste waarde ligt van voedingswater voor tomatenplanten, waardoor er in het rekenvoorbeeld geen aanvullende stikstofmeststoffen nodig zouden zijn, maar ook geen overschot oplevert.¹⁸ Het waterverbruik van de tilapia-kwekerij ligt met deze aannames wel wat aan de hoge kant; 38.200 m³ water/142 ton vis ≈ 269 liter water per kg tilapia.¹⁹ Een intensievere viskweek dat water met 1.500 mg/L nitraat levert zou nog steeds aan een kas kunnen worden gekoppeld door bijvoorbeeld bijmengen van regenwater.

Aandachtspunten

Voor het maximaal benutten van de synergie tussen glastuinbouw en aquacultuur is waterkwaliteit een sleutelwoord. Als een RAS regenwater gaat gebruiken dat is opgevangen door de kas, is het van belang om na te gaan of het stoffen bevat die toxisch zijn voor vissen. Denk bijvoorbeeld aan zware metalen die via de kasconstructie (bv. goten van verzinkt staal) in het water of bassin terecht komen. Condenswater uit de kas kan in het regenwaterbassin terecht komen en kan sporen van gewasbeschermingsmiddelen bevatten. Als een kasdek gekrijt wordt, moet ook daarvan de mogelijke impact bekend zijn. Ontsmetting van regenwater kan van belang zijn om ziektes te vermijden die voortkomen uit organische bronnen zoals algengroei in het bassin of uitwerpselen van vogels op het kasdek.

Voor kassen is geen of een laag natriumgehalte in het gietwater een voorwaarde voor een gesloten waterkringloop. Dit is iets waar de viskweker rekening mee moet houden aangezien de keuze in visvoer hier een invloed op heeft. Ook voegt een viskweker soms zout(en) toe aan het water. Hoewel een RAS een gesloten viskweekstelsel is, is er een risico dat stoffen zoals antibiotica worden toegepast als een ernstige ziekte zich voordoet. Daarom is het van belang dat de kas ontkoppeld kan worden van het RAS afvoerwater totdat de waterkwaliteit weer is hersteld.

Eerder werd genoemd dat zwevende en vaste delen door ontlasting van de vis of niet gegeten voer worden verwijderd in een RAS door een mechanische filter. Het optimaal verwijderen van de zwevende deeltjes verdient extra aandacht wanneer de kas het water wil hergebruiken. Dat heeft te maken met meerdere doelen:

- Door zwevende deeltjes te verwijderen tot een acceptabel niveau, wordt het biologisch zuurstofgebruik (BZV) van dit water verminderd. Dit is nodig om het ontstaan van een te laag zuurstofgehalte rondom de wortels van de tomatenplant te voorkomen.^{22, 23}
- Met het verlagen van het BZV van het RAS afvoerwater zal de kans op denitrificatie, het proces waarbij bacteriën nitraat omzetten in stikstof (N_2), verkleinen waardoor er maximaal nitraat (NO_3^-) beschikbaar komt voor de teelt van tomaten.
- Het water dat verloren gaat in een RAS door het verwijderen van de zwevende deeltjes, is sterk afhankelijk van het gebruikte type mechanische filter. Optimale verwijdering kan daarom tot hogere waterbesparing leiden.

Verwaarding van afvoerwater en slib uit de aquacultuur tot meststoffen 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 waarvan een deel op den duur uitgeput zal raken. Denk bijvoorbeeld aan fosfaat- en kaliumgesteente. Voor stikstofmeststoffen ligt het verhaal iets anders. Stikstof wordt voornamelijk op basis van het Haber-Bosch proces uit de lucht gehaald en omgezet naar ammoniak. Voor dit productieproces wordt aardgas als grondstof en als energiebron gebruikt, wat resulteert in uitstoot van CO₂.

Als het doel om in 2030 50% minder primaire grondstoffen te gebruiken in Nederland, direct van toepassing wordt op meststoffen, moet de glastuinbouw binnen afzienbare tijd een omslag maken naar het gebruik van meststoffen uit organische bronnen. Door de transitie van minerale- naar organische meststoffen in te zetten, wordt de nutriëntenkringloop verder gesloten. Dierlijke mest, en daarmee ook mest van vissen, is zo'n mogelijke organische bron voor meststoffen.

Voor de viskweker is lozing en verwerking van nutriëntrijk afvoerwater en slib momenteel een kostenpost. Stijgende grondstofprijzen, maar ook veranderend beleid kan op den duur wellicht stimulans bieden om deze afvalstromen her te gebruiken of te verwaarden tot grondstoffen. Zo staat er in de EU verordening uit 2019 met betrekking tot meststoffenbeleid: "Ook gerecycleerde en organische materialen moeten gebruikt kunnen worden voor bemesting."²⁴ Om in te schatten hoeveel een viskwekerij kan betekenen voor een glastuinbouwbedrijf wat betreft meststoffen kijken we hieronder naar enkele kengetallen en een rekenvoorbeeld:

Rekenvoorbeeld Tomaat & Tilapia in Nederland

Voor dit rekenvoorbeeld gaan we uit van dezelfde type bedrijven uit het vorige rekenvoorbeeld; een onbelichte tomatenteelt van 4 ha die gekoppeld wordt aan een tilapia-kwekerij met een productiecapaciteit van 142 ton vis per jaar. In tabel 2 staat de vraag naar de meststofcomponenten stikstof (N), fosfor (P) en kalium (K) vanuit de tomatenteelt en de productie daarvan door de tilapia-kwekerij. Ook de potentiële besparing op meststoffen wordt weergegeven.

Tabel 2. Vraag naar N, P, K vanuit een tomatenteelt (4 ha) en productie door een tilapia-kwekerij (productiecapaciteit 142 ton/jaar).

	Stikstof (N)	Fosfor (P) ^a	Kalium (K)
Gebruik tomatenteelt [kg/jaar] ²⁵	6.444	944	8.548
Productie tilapia-RAS [kg/jaar]	6.248	379 _(aq) 473 _(s)	663
Potentiële besparing op meststof	97%	40 – 90%	8%

^a Fosfor begeeft zich deels in het afvoerwater als opgeloste vorm en deels ligt het in het slib vastgelegd.

De besparingspercentages zijn berekend onder de aanname dat alle geproduceerde meststoffen vanuit de tilapia-RAS gebruikt worden door de kas. Om dit in de praktijk te bewerkstelligen is wederom de buffercapaciteit van water belangrijk omdat de meststoffen zich voor het grootste deel in het afvoerwater van de tilapia-kwekerij begeven. Voor stikstof gaat het bijvoorbeeld om nitraat (NO_3^-) dat is opgelost in het afvoerwater. De besparing op fosfor houdende meststoffen is afhankelijk van het gebruik van alleen in water opgelost fosfaat (orthofosfaten) of ook van het in het slib aanwezige fosfor. Het fosfor dat zich in het slib bevindt, kan beschikbaar worden gemaakt voor de planten door middel van bijvoorbeeld (an)aerobe bioreactoren.⁸

Een besparing op meststoffen vertaalt zich ook naar een vermindering in CO_2 uitstoot. Bijvoorbeeld, ervan uitgaande dat alle, door de vis geproduceerde, nitraat wordt gebruikt door de tomatenplanten kan er 33 – 47 ton CO_2 equivalenten per jaar worden bespaard.²⁶

Aandachtspunten

De samenstelling van het afvoerwater uit een viskwekerij zal regelmatig geanalyseerd moeten worden om het nutriëntenprofiel vast te stellen. Op basis hiervan zal een tuinder meststoffen moeten aanvullen of, als bepaalde concentraties te hoog zijn, het afvoerwater eerst verdunnen en/of selectief filteren. Zowel de EC als de pH van het afvoerwater zullen vervolgens op het gewenste niveau moeten worden gebracht voor de tomatenplanten. PCG Kruishoutem heeft meerdere aquaponics proeven uitgevoerd waarin een tomatenteelt is gecombineerd met Omegabaars. Daarin is gekeken naar het nutriëntenprofiel van het afvoerwater en hoe deze is te combineren met de behoeftes van de tomatenplant.²⁷ De kostenbesparing voor de glastuinder op de meststoffen werd ingeschat op 22%.²⁸

Uit de teeltervaringen heeft PCG Kruishoutem ook enkele maatregelen geïdentificeerd waarmee de viskweker de kwaliteit van het afvoerwater kan sturen. De keuze van pH buffer die in de visteelt wordt gebruikt, biedt bijvoorbeeld een kans om gewenste nutriënten toe te voegen. De viskweker kan namelijk gedurende de eerste fase van de tomatenteelt beter kaliumwaterstofcarbonaat (KHCO_3) gebruiken om daarna af te wisselen met calciumcarbonaat (CaCO_3). Hiermee kan de balans tussen kalium (K) en calcium (Ca) in de voedingsoplossing voor de tomatenplanten worden aangepast.²⁷ Ook wordt benadrukt dat natrium in het visvoer een beperkende factor is voor de groenteteelt. Natrium-arm visvoer is voor aquaponics dus een interessant product.

CO₂ uit de aquacultuur doseren in de glastuinbouw

De glastuinbouw maakt gebruik van CO₂ als grondstof; het wordt gedoseerd in kassen om de CO₂-concentratie in de lucht te verhogen waardoor de gewasproductie aanzienlijk toeneemt. In Nederland bedraagt de jaarlijkse vraag naar CO₂ vanuit de kassen 2,6 miljoen ton.²⁹ De meeste CO₂ die in de glastuinbouw gebruikt wordt, is afkomstig van fossiele brandstoffen. Het gaat dan voornamelijk om CO₂ die vrijkomt bij de verbranding van aardgas in warmtekrachtkoppelingen (WKK) die op het eigen bedrijf staan. Een deel van de glastuinbouw krijgt CO₂ geleverd via een uitgebreid leidingnetwerk. Die CO₂ is 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 CO₂ af. Alternatieve bronnen zullen daarom moeten worden overwogen als de glastuinbouw gebruik wil blijven maken van CO₂ in de kas. Naar verwachting loopt de jaarlijkse vraag naar externe CO₂ bronnen voor de glastuinbouw op naar 1,8-3,0 miljoen ton in 2030.³⁰

Bij de productie van vis in RAS komt CO₂ vrij. Deze wordt uit het systeem verwijderd via ventilatie en afgeblazen naar de buitenlucht. Op den duur zou het kunnen dat EU- of nationaal beleid zich ook op dit type uitstoot richt, en er druk komt om deze te verminderen of te belasten. Een verdere verduurzaming op dit vlak kan dus voor de viskweeksector van belang worden, ook met het oog op duurzaamheidseisen die gesteld worden door consument en maatschappij. Een (deel)oplossing die hier wordt uitgewerkt aan de hand van een rekenvoorbeeld is het inzetten van CO₂-uitstoot van een tilapia-kwekerij als vervanging van CO₂ uit fossiele brandstof voor een tomatenteelt:

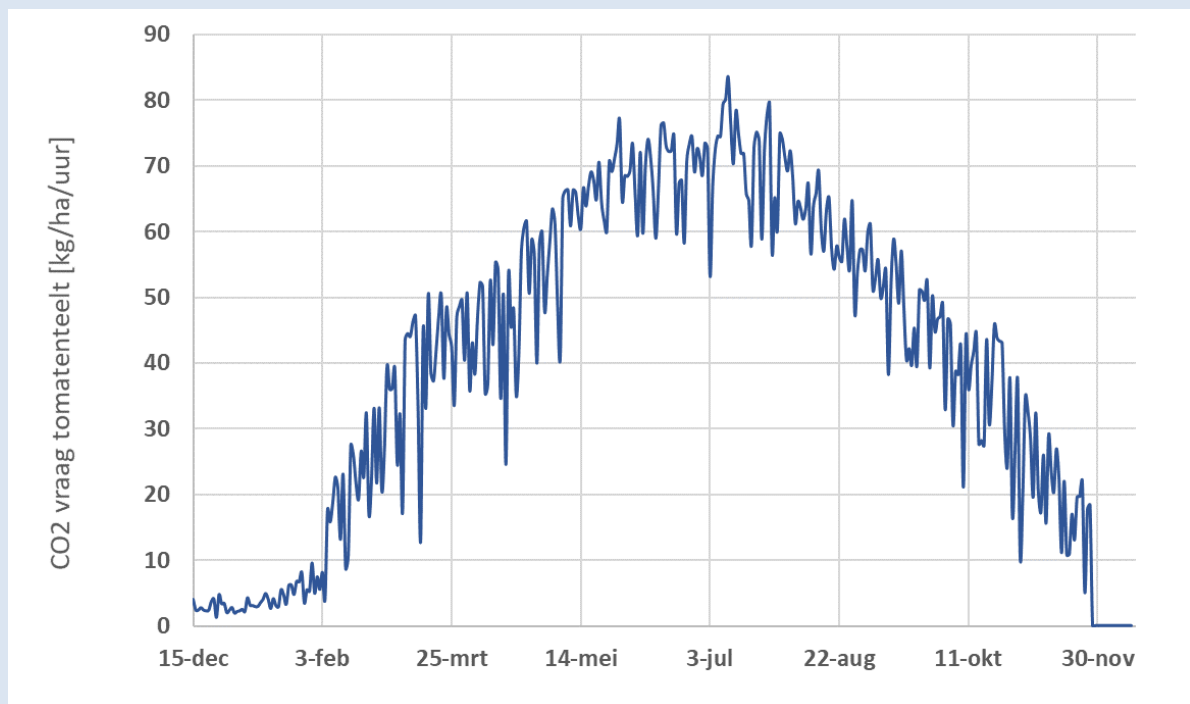
Rekenvoorbeeld Tomaat & Tilapia in Nederland – CO₂

Voor dit rekenvoorbeeld gaan we uit van dezelfde type bedrijven uit het eerste rekenvoorbeeld; een onbelichte tomatenteelt van 4 ha die gekoppeld wordt aan een tilapia-kwekerij met een productiecapaciteit van 142 ton vis per jaar.

Op basis van de berekeningen die zijn gemaakt voor deze whitepaper om de stromen van een tilapia-kwekerij te kwantificeren, komt bij de productie van 142 ton tilapia 123 ton CO₂ vrij. De CO₂ wordt via ventilatiebuizen actief afgevoerd en vereist zo'n 48 miljoen m³ lucht per jaar. De CO₂ van de afgevoerde lucht bedraagt 1.742 ppm; 1.322 ppm wordt toegevoegd aan de buitenwaarde van 420 ppm.

De tomatenteelt gebruikt 35 kg CO₂ per m² per jaar.³¹ Voor 4 ha komt dit neer op 1400 ton CO₂ per jaar. Als alle CO₂ uit de RAS benut wordt in de kas dan levert dit een besparing op van bijna 9% voor de glastuinder.

Net als bij uitwisseling van water, geldt echter ook hier dat aanvoer en afname niet altijd op elkaar zijn afgestemd. In onderstaande grafiek is de gemiddelde dagelijkse CO₂ vraag te zien gedurende een tomatenteelt. Het zwaartepunt ligt in de zomer wanneer er veel licht beschikbaar is voor de plant. Daarnaast is er een dag- en nachtritme; 's nachts is er geen behoefte aan CO₂ omdat er dan geen fotosynthese plaatsvindt. De tilapia-kwekerij produceert daarentegen vrijwel continue dezelfde hoeveelheid CO₂ (3,5 kg/ha/uur).



Figuur 10. CO₂ vraag van een tomatenteelt gedurende de teeltperiode.

Al met al zijn er zo'n 4.000 uren per jaar waarin CO₂ gedoseerd wordt en dus zal de kas 46% van de CO₂ uit de tilapia-kwekerij kunnen gebruiken. Dit komt neer op bijna 57 ton CO₂ wat overeenkomt met 4% van het totale gebruik van de kas. Als de CO₂ van de RAS gebufferd kan worden, neemt het potentiële hergebruik uiteraard toe.

Aandachtspunten

De CO₂-rijke lucht uit een tilapia-kwekerij heeft een temperatuur van rond de 27 °C en is verzadigd met vocht. Met name het vochtgehalte kan een reden tot voorzichtigheid zijn omdat een te hoge luchtvochtigheid in een kas tot schimmels en plantziektes kan leiden. Het is nog de vraag in hoeverre er daadwerkelijk voorzichtigheid is geboden. Ten eerste is de hoeveelheid vocht die zou worden aangevoerd vanuit de viskwekerij (vrijwel) verwaarloosbaar ten opzichte van de gewasverdamping. Op een zonnige dag, wanneer CO₂ dosering van belang is, verdampt een volgroeid tomatengewas tot wel 600 gram per m² per uur, ofwel 24.000 kg per uur voor 4 ha. Om te voorkomen dat temperatuur en luchtvochtigheid te ver toenemen in de kas wordt in die situatie flink geventileerd, waardoor het vocht wordt afgevoerd naar de buitenlucht. De tilapia-kwekerij zou daar 126 kg per uur aan toevoegen. Op momenten dat een glastuinder wel CO₂ wil doseren vanuit de RAS, maar de gewasverdamping is gering en de kas is grotendeels gesloten, zal er aandachtiger moeten worden gekeken naar eventuele opbouw van vochtigheid.

Een andere optie is om de lucht afkomstig uit de RAS te ontvochtigen en eventueel nog latente warmte terug te winnen. Hiervoor zijn verscheidene technieken beschikbaar die al in de glastuinbouw worden toegepast.³² De kwaliteit van de ventilatielucht afkomstig van het visbedrijf is naar waarschijnlijkheid dusdanig dat deze zonder voorbehandeling direct naar de kas zou kunnen worden geleid. Hierdoor kan de tuinder met een minimale investering (ventilatiebuis) een interessante kostenbesparing bereiken.

Behalve CO₂ uit de ventilatielucht, zou ook CO₂ kunnen worden geproduceerd op basis van vergisting van het slib. Van de koolstof in het visvoer dat niet wordt vastgelegd in de vis, wordt >80% CO₂ gas, maar 10-15% ligt vastgelegd in het spuislib.¹⁹ Naast CO₂ zou een vergister ook biogas kunnen leveren aan de kas of RAS.

Benieuwd geworden?

Door de kansen en de knelpunten van een cross-over tussen glastuinbouw en aquacultuur 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

Auteurs

Alexander Boedijn¹, Jeroen Kals² en Wilfred Appelman³

Peer review

Erik van Os¹, Marcel Raaphorst¹ en Norbert Kuipers³

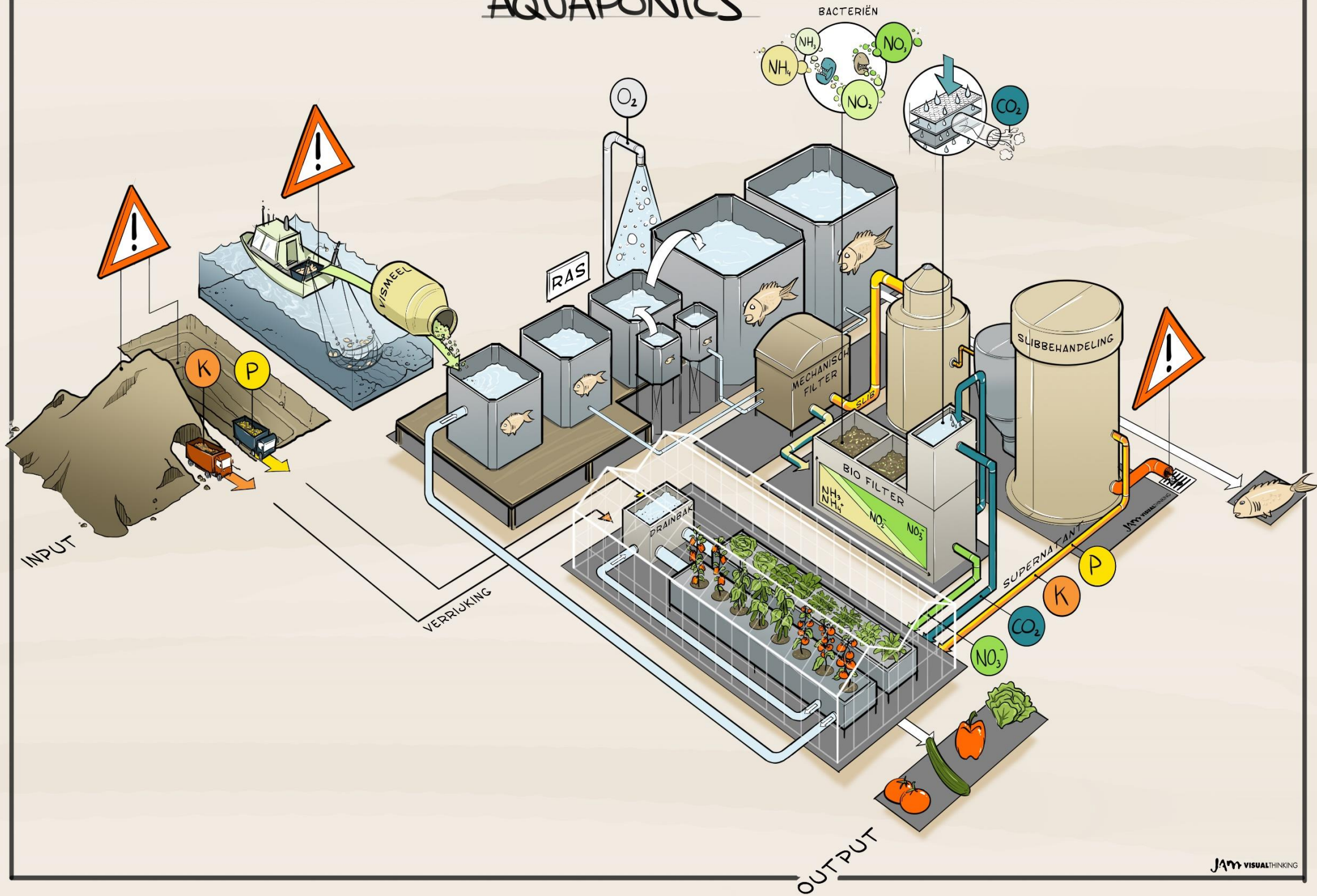
Samenwerking

¹ Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw

² Wageningen Livestock Research

³ Wageningen Food & Biobased Research

AQUAPONICS



Bronvermelding

1. CBS. (2021). CBS StatLine, Tuinbouw onder glas.
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81302ned/table?dl=6BCD5>
2. FAO. (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020 - Sustainability in action. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
3. Nevevi. (2020). Branchecijfers viskweek consumptievis 2020.
<https://www.nevevi.nl/kenmerken-van-de-sector/>
4. European Commission, Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries, (2020). Recirculation aquaculture systems, Publications Office.
<https://data.europa.eu/doi/10.2771/66025>
5. Van der Salm, C., Voogt, W., Beerling, E., Van Ruijven, J., & Van Os, E. (2020). Minimising emissions to water bodies from NW European greenhouses; with focus on Dutch vegetable cultivation. *Agricultural Water Management*, 242.
<https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2020.106398>
6. Glastuinbouw Waterproof. (2018). Emissieloos telen, wat is dat nou precies?
<https://www.glastuinbouwwaterproof.nl/nieuws/emissieloos-telen-wat-is-dat-nou-precies/?L=0&cHash=a905445f7f2bd105d587497680fa72d9>
7. Verdegem, M. C. J., Bosma, R. H., & Verreth, J. A. J. (2006). Reducing Water Use for Animal Production through Aquaculture. *Water Resources Development*, 22(1), 101–113.
<https://doi.org/10.1080/07900620500405544>
8. Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (Eds.). (2019). *Aquaponics Food Production Systems : Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*. Springer Nature PP - Cham.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>
9. Heldbo, J. (2014). Recirculated Aquaculture systems, Advantages and Disadvantages, Good Practice Workshop 2014, Copenhagen
10. Aqua4C. (2014). Duurzame Aquacultuur - De Omegabaars.
<https://docplayer.nl/9534473-Duurzame-aquacultuur-de-omegabaars.html>
11. Vlaemynck, J. (Tomato Masters), persoonlijke communicatie, 10 mei 2022
12. CBS, PBL, RIVM, WUR (2020). Jaarlijkse hoeveelheid neerslag in Nederland, 1910-2019 (indicator 0508, versie 08 , 24 april 2020). www.clo.nl. Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Den Haag; PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag; RIVM Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven; en Wageningen University and Research, Wageningen.

13. KNMI. (n.d.). Klimaatverandering. <https://www.knmi.nl/producten-en-diensten/klimaatverandering>
14. Greenport West-Holland, Hoogheemraadschap Delfland, Provincie Zuid-Holland, Gemeente Westland, Glastuinbouw Nederland, & Innovatiefonds LTO Noord. (2021). Toekomstplan Gietwatervoorziening Glastuinbouw. <https://greenportwestholland.nl/wp-content/uploads/2021/10/211004-Toekomstplan-Gietwater-def.pdf>
15. Stanghellini, C., Stanghellini, C., Ooster, B. van't, Heuvelink, E., Ooster, B. van 't, & Heuvelink, E. (2019). Greenhouse horticulture : technology for optimal crop production. Wageningen Academic.
16. Beerling, E. A. M., Blok, C., Van Der Maas, A. A., & Van Os, E. A. (2014). Closing the water and nutrient cycles in soilless cultivation systems. *Acta Horticulturae*, 1034, 49–55. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1034.4>
17. Monsees, H., Klatt, L., Kloas, W., & Wuertz, S. (2016). Chronic exposure to nitrate significantly reduces growth and affects the health status of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in recirculating aquaculture systems. <https://doi.org/10.1111/are.13174>
18. De Kreijl, C., Voogt, W., Van den Bos, A. L., & Baas, R. (1999). Bemestingsadviesbasis substraten. <https://edepot.wur.nl/218455>
19. Schram, E., Sereti, V., De Buissonje, F., Eding, E., Ellen, H., & Van der Mheen, H. (2006). De productie van reststromen door de Nederlandse visteelt.
20. Raaphorst, M. G. M., & Benninga, J. (2019). Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2019: Kengetallen voor Groenten-, Snijsbloemen-, Pot- en perkplanten teelten.
21. Voedingswaarde Tabel. (n.d.). Retrieved July 21, 2022, from <https://www.voedingswaardetabel.nl/>
22. Van Der Maas, B., Blok, C., & Beerling, E. (2012). Goed Gietwater Werkpakket 1: Analyse bestaande eisen en kentallen.
23. Suhl, J., Oppedijk, B., Baganz, D., Kloas, W., Schmidt, U., & van Duijn, B. (2019). Oxygen consumption in recirculating nutrient film technique in aquaponics. *Scientia Horticulturae*, 255, 281–291. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2019.05.033>
24. Verordening (EU) 2019/1009 van het Europees Parlement en de Raad van 5 juni 2019 tot vaststelling van voorschriften inzake het op de markt aanbieden van EU-bemestingsproducten en tot wijziging van de Verordeningen (EG) nr. 1069/2009 en (EG) nr. 1107/2009, (2019). <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1009/2022-07-16>
25. 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. Manuscript in preparation.

26. Wood, S., & Cowie, A. (2004). A Review of Greenhouse Gas Emission Factors for Fertiliser Production.
http://www.sciencetheearth.com/uploads/2/4/6/5/24658156/2004_wood_a_review_of_greenhouse_gas_emission_factors.pdf
27. PCG. (2017). Vergelijkende studie: Teelt van tomaat in hydroponic en aquaponic teeltsysteem. <https://www.pcgroenteteelt.be/nl-nl/Onderzoek/Innovaties/Andere/ArtMID/3393/ArticleID/1947/Tomaat-in-een-hydroponic-en-aquaponic-teeltsysteem-2017>
28. PCG. (2013). Berekening reductie meststoffengebruik tomatenteelt door gebruik van proceswater omegabaarsteelt.
<https://www.pcgroenteteelt.be/nl-nl/Leesmeer/ArtMID/4350/ArticleID/756/Tomaat-bemesting-reductie-door-gebruik-proceswater-omegabaars-2013>
29. Van Der Velden, N., & Smit, P. (2020). Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2019. <https://doi.org/10.18174/533541>
30. Van Der Velden, N., & Smit, P. (2019). CO2-behoefte glastuinbouw 2030. <https://research.wur.nl/en/publications/co2-behoefte-glastuinbouw-2030>
31. De Gelder, A., Warmenhoven, M., Kromdijk, J., Meinen, E., de Zwart, H., Stolker, H., Grootsholten, M., (2012). Gelimiteerd CO2 en het nieuwe telen Tomaat. Wageningen UR Glastuinbouw.
32. Van Weel, P. A., De Zwart, H. F., & Voogt, J. O. (2016). Vochtbeheersing in kassen en terugwinning van latente energie.
<https://edepot.wur.nl/401229#:~:text=De latente warmte%2C opgesloten in,te verwarmen via de buizen.>

Beeldmateriaal

“Deep water culture hydroponic system close up” door Ivan Karpov/Shutterstock.com

“Aquaponics: Kansen en Uitdagingen” Wageningen University & Research, Business Unit Glastuinbouw in samenwerking met JAM Visual Thinking

“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, Business Unit Glastuinbouw in samenwerking met JAM Visual Thinking

“GEOFOOD Research RAS facilities in Bleiswijk” door Wageningen University & Research

“Zwemmende Tilapia in GEOFOOD Research RAS facilities in Bleiswijk” door Rob van de Ven/Landing Aquaculture

“Young cucumber plant with leaves and flowers and buds are growing in greenhouse, power system with control” door Pavlo Baliukh/Shutterstock.com

“Schematische weergave van een RAS” door Wageningen University & Research

“ Luchtfoto Tomato Masters en Aqua4C” door Johan Vlaemynck/Tomato Masters

“ Schematische weergave koppelen van waterstromen tussen RAS en kas” door Wageningen University & Research