



Een inventarisatie van groeimedia anders dan bodem en hun mogelijkheden in relatie tot (plant)weerbaarheid

Kansen en knelpunten in de periode tot 2030

Chris Blok, Alexander Boedijn, Marta Streminska, Ellen Beerling, Annelein Meisner en Caroline van der Salm

Rapport WPR-1170

Referaat

Dit rapport levert een inventarisatie van groeimedia, gericht op mogelijkheden voor het aanpassen van de weerbaarheid, en een context en maatregelen waarmee telers de weerbaarheid van alternatieve groeimedia (niet bodem) kunnen verhogen. Het geeft richting aan de acties door partijen van het Uitvoeringsprogramma Toekomstvisie Gewasbescherming om potentieel kansrijke groeimedia en maatregelen structureel te adresseren in praktijk en onderzoek. Het betreft specifiek die groeimedia en maatregelen met potentie voor de Nederlandse teeltsituatie. De aanleiding vormt een actie van het Uitvoeringsprogramma Toekomstvisie Gewasbescherming (UP GB) en past onder het MMIP A2. Groeimedia dragen bij aan een weerbaar, actief en divers microbiom, mits afgestemd op bijdragen van de plant, organische meststoffen en organische toevoegingen. Temperatuur, watergehalte, zuurgraad en zuurstofaanvoer moeten daarop geoptimaliseerd zijn. Sommige bestanddelen van groeimedia-mengsels hebben in lage hoeveelheden een nuttige, maar in hoge hoeveelheden een schadelijke invloed.

Abstract

This report delivers an inventory of growing media, aimed at possibilities to adapt their resilience, and a context and measures for growers to increase the resilience of alternative growing media (not soil). It gives direction to the actions by parties of the Implementation Program for the Future Vision for Crop Protection (UP) to structurally address potentially promising growing media as well as promising measures in practice and research. It specifically concerns growing media and measures with potential for the Dutch cultivation situation. The reason is an action of the Implementation Program for the Future Vision for Crop Protection (UP GB) and is part of MMIP A2. Growing media contribute to a resilient, active and diverse microbiome, provided they are tuned to contributions from the plant, organic fertilizers and organic additives. Temperature, water content, acidity and oxygen supply must be optimized for that purpose. Some growing media components are beneficial in low quantities but harmful in high quantities.

Dit onderzoek is gesubsidieerd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1170

Projectnummer: 3742322800

DOI: <https://doi.org/10.18174/579518>

Thema: Gewasbescherming

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, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Introductie	9
1.1	Achtergrond	9
1.2	Probleemstelling	9
1.3	Projectdoelstelling	10
1.4	Werkwijze	10
1.5	Leeswijzer	12
1.6	Projectorganisatie	13
2	Inventarisatie groeimedia anders dan bodem	15
2.1	Longlist	15
2.2	Criteria voor een shortlist met relevante materialen voor Nederland	15
2.2.1	Samenvatting van de genoemde criteria	24
2.3	Shortlist	25
2.4	Aandachtspunten	27
2.5	Bespreking groeimediabestanddelen	29
2.5.1	Groeimediabestanddelen	30
2.5.2	Synthese weerbaarheidskansen groeimedia	33
2.5.3	Conclusies weerbaarheidskansen groeimedia	34
2.5.4	Aanvullende overweging bij gebruik groeimedia in teeltsystemen	35
3	Inventarisatie aanvullende maatregelen voor weerbaarheidsverhoging van geïdentificeerde groeimedia	39
3.1	Achtergrond	39
3.1.1	Samenleven van planten en micro-organismen in de bodem	39
3.1.2	Belang van groeimedia en de ontluikende rol van weerbaarheid daarbij	40
3.2	Toetsingskader voor het beoordelen van maatregelen en hun samenhang	40
3.2.1	Definitie weerbaarheid groeimedia	41
3.2.2	Weerbaarheidsbepalende factoren	42
3.2.3	Criteria voor beoordeling van maatregelen	44
3.2.4	Samenvatting Criteria en beoordelen van maatregelen	49
3.3	Aanvullende maatregelen die de weerbaarheid verhogen van de geïnventariseerde groeimedia	50
3.3.1	Mogelijkheden binnen het bereik van de teler	51
3.3.2	Conclusies gebruik maatregelen door telers	55
3.3.3	Aanvullende overwegingen	56
4	Wittevlekkenanalyse	57
4.1	Lopend publiek/privaat onderzoek (tot 2030)	57
4.2	Wittevlekkenanalyse	65
4.3	Weerbaarheid in de praktijk	66

5	Kansen en belemmeringen voor structurele verankering in kennisontwikkeling en -valorisatie	69
5.1	Brede inventarisatie	69
5.2	Overzicht van kansen en belemmeringen	70
5.3	Slotopmerkingen	73
	Literatuur	75
	Bijlage 1 Longlist	81
	Bijlage 2 Shortlist	91
	Bijlage 3 Specifieke gedetailleerde bronnenlijst	93

Samenvatting

Dit rapport geeft a) een inventarisatie van groeimedia, gericht op mogelijkheden voor het aanpassen van de weerbaarheid en b) een overzicht van maatregelen die telers direct en in potentie kunnen gebruiken om de weerbaarheid van alternatieve groeimedia te verhogen. Het geeft richting aan de acties van partijen in het Uitvoeringsprogramma Toekomstvisie Gewasbescherming om potentieel kansrijke groeimedia en maatregelen structureel te adresseren in de praktijk en onderzoek. Het betreft specifiek die groeimedia en maatregelen met potentie voor de Nederlandse teeltsituatie. De aanleiding is een actie vanuit het Uitvoeringsprogramma Toekomstvisie Gewasbescherming (UP GB) en past onder het MMIP A2.

In interactie met experts en partijen van het UP GB is een inventarisatie van groeimedia en maatregelen uitgevoerd, bestaande uit: (1) een inventarisatie van groeimedia anders dan bodem met potentie om bij te dragen aan een weerbaar teeltsysteem, die nu en in de toekomst (tijdshorizon 2030) beschikbaar zijn, voor alle typen bedekte teelten; (2) een inventarisatie van maatregelen, die een teler kan treffen, voor het verhogen van de weerbaarheid van de geïdentificeerde groeimedia; (3) een wittevlekkenanalyse om te bepalen in welke mate er in de huidige onderzoeks- en valorisatieprojecten aandacht is voor de geïdentificeerde groeimedia anders dan bodem, alsmede aanvullende maatregelen en (4) een identificatie van kansen en belemmeringen voor structurele verankering in praktijk en onderzoek van de geïnventariseerde groeimedia en weerbaarheidverhogende maatregelen.

Voor deze stappen zijn zowel literatuur, interne en externe experts en de partijen uit het UP GB geraadpleegd. De resultaten van het onderzoek worden weergegeven in dit rapport waarmee richting wordt gegeven aan aanvullende acties om de weerbaarheid van groeimedia in de praktijk te verhogen en deze structureel te adresseren.

In dit rapport worden een aantal kennisstappen gezet die sterk bepalend zijn voor de uitwerking:

- Er wordt een onderscheid gemaakt tussen groeimediabestanddelen (de pure materialen) en groeimedia als het medium waarin geteeld wordt, en dat soms een puur materiaal maar vaker een mengsel van groeimediabestanddelen betreft. Belangrijk is dat sommige groeimediabestanddelen, bijvoorbeeld compost of biochar, niet puur te gebruiken zijn. Juist door het slim toepassen van mengsels van elkaar compenserende materialen, kunnen materiaalstromen ingezet worden die anders onbruikbaar zouden zijn. De niet-puur toepasbare groeimediabestanddelen zijn dus een belangrijke categorie voor beleid en onderzoek.
- Groeimedia zijn niet de enige of doorslaggevende manier om weerbaarheid in het wortelmilieu vorm te geven. In dit rapport zijn groeimedia als weerbaarheidsfactor in een breder kader geplaatst, om te voorkomen dat groeimediatoepassingen door een verkeerde combinatie van andere factoren niet tot de gewenste resultaten leiden. Dit bredere kader omvat in grote lijnen:
 - Het besef dat het vrijkomen van koolstof grotendeels de totale activiteit van micro-organismen in het wortelmilieu bepaald.
 - Het besef dat het vrijkomen van koolstof niet alleen afhangt van het gebruikte groeimedium maar van het totaal van koolstofbronnen dus inclusief de plant, organische meststoffen en overige organische toevoegingen.
 - Het besef dat het vrijkomen van koolstof verder afhangt van omgevingsfactoren zoals temperatuur, watergehalte, zuurgraad en zuurstofaanvoer.

Door dit bredere kader is het mogelijk maatregelen te beschrijven die binnen het bereik van telers liggen in een veel groter detail dan tot nu toe gebruikelijk. Ook is het door het bredere kader mogelijk gestructureerd onderzoeksvoorstellen te beoordelen en voorstellen te doen voor completer onderzoek. Wel vereist dit bredere kader dat onderzoeken een meer holistisch karakter krijgen, dat wil zeggen dat altijd door metingen duidelijk moet zijn wáár in het geschetste kader het onderzoek zich afspeelt (zodat het herhaalbaar is) en dat veel meer interdisciplinair gewerkt moet worden. Met interdisciplinair wordt niet bedoeld dat elk deelaspect door een expert wordt uitgevoerd maar dat de experts werkelijk met elkaar bediscussiëren hoe elke expertise bijdraagt aan het grotere kader.

- Vanwege hun rol in de klimaatcrises zijn veen en op olie gebaseerde schuimen uitgevallen als acceptabele groeimedia. Wel worden materialen genoemd die nu nog nauwelijks serieus genomen worden zoals: schors van nog niet gebruikte boomsoorten; rijstekaf dat nu verbrand wordt; riet; olifantsgras; lisdodde; geteeld levend veenmosveen (sfagnum); vermicompost; biochar; grasvezel. Deze materialen zijn beperkt in beschouwing genomen, vanwege hun lage beschikbaarheid en grote kwaliteitsproblemen. Verwacht wordt dat door technische behandelingen en verbeterde inzameling deze problemen op vrij korte termijn economisch oplosbaar zijn.

Enkele algemene gevolgtrekkingen met betrekking tot de vier eerdergenoemde onderdelen van het rapport zijn:

1. De inventarisatie van groeimedia. Het is bewezen dat groeimedia kunnen dienen als de basis voor een actief en divers microbiom in de wortelomgeving. Belangrijk is het besef dat het hierbij gaat om een optimum voor stabiliteit, waaronder en waarboven de kansen voor ziekten toenemen. Stabiliteit staat hier voor de mate waarin een groeimedium kan worden afgebroken door micro-organismen. In een groeimediummengsel kunnen iets te onstabiele en iets te stabiele bestanddelen elkaar compenseren. Hoog stabiele groeimediabestanddelen zijn kokosproducten (gruis, vezel en brokken), schors, biochar, sfagnum en bioschuimen. Laag stabiele groeimediabestanddelen zijn houtproducten (vezel, en korrels). Groeimediabestanddelen met te lage stabiliteit om ongemengd toe te passen zijn composten, champosten en veel vezelproducten (vlas, hennep, grassen). Kwantitatieve gegevens staan in de hoofdttekst. Om weerbare teeltsystemen te ontwerpen moet een keuze uit de stabiliteitsgroepen gecombineerd worden met een bijpassende keuze van plant, meststoffen, organische toevoegingen en de te verwachten abiotische instellingen (temperatuur, watergehalte, zuurgraad en zuurstofaanvoer). Materialen die mogelijk door technische behandelingen, verbeterde inzameling en onderzoek voor 2030 beter beschikbaar komen zijn: schors van nog niet gebruikte bronnen; rijstekaf dat nu verbrand wordt; riet; olifantsgras; lisdodde; geteeld levend veenmosveen (sfagnum); vermicompost; biochar; grasvezel.
2. De inventarisatie van maatregelen ter beschikking van de teler. De snelheid waarmee koolstof vrijkomt uit een groeimediabestanddeel is een belangrijke en meetbare grootheid die een indicator is van de mogelijke microbiële activiteit. De microbiële activiteit is mede afhankelijk van de koolstof vrijgemaakt door de plant, de (organische) meststoffen en de organische toedieningen. Daarnaast moet rekening gehouden worden met omgevingsfactoren, in elk geval temperatuur, vochtgehalte en zuurgraad. De teler heeft invloed op de vier omgevingsfactoren, de aard van de drie toegevoegde organische stofbronnen (via groeimedium, organische mest en organische toedieningen) en de hoeveelheid, frequentie en van verspreiding van toedieningen. Belangrijk is dat er een optimum is voor de microbiële activiteit dat ligt tussen het vrijkomen van 1000 tot 2000 mg koolstof per vierkante meter per dag. Daarmee zijn de bovengenoemde maatregelen nu al meetbaar in te stellen. Even belangrijk is dat mogelijk ontbrekende data (hoe snel breekt een groeimediacomponent of organische verbinding af) met bestaande routinemetingen te bepalen is.
3. De wittevlekkenanalyse. In onderzoek wordt vaak maar een deel van de factoren die van invloed zijn op de microbiële activiteit gemeten en gerapporteerd. Op zich is het begrijpelijk dat onderzoeken zich concentreren op een beperkt aantal factoren waarbij de overige factoren constant worden verondersteld. De overige factoren en hun waarden moeten echter wel bekend zijn omwille van de herhaalbaarheid en toepasbaarheid. Daarnaast ontbreken protocollen en standaard veldmethoden die herhaalbare vergelijkingen mogelijk maken. Door te erkennen dat weerbaarheid bestudeerd moet worden in een breder kader, is het mogelijk gestructureerd voorstellen te doen voor completer, eventueel zelfs programmatisch, onderzoek. Dit vereist dat door metingen duidelijk moet zijn wáár in het geschetste kader het onderzoek zich afspeelt (zodat het herhaalbaar is). Het houdt ook in dat veel meer interdisciplinair gewerkt moet worden.
4. De identificatie van kansen en belemmeringen. De eisen aan organische toevoegingen die worden gezien als gewasbeschermingsmiddel zijn belemmerend voor de toepassingen met weerbare groeimedia in een breder weerbaar teeltsysteem. De toeleverende industrie is nu terughoudend in investeringen voor het ontwikkelen en toepassen van organische toevoegingen die de weerbaarheid van een teeltsysteem beïnvloeden. Dit remt de onderzoekssamenwerking tussen toeleverende industrie voor zowel organische toevoegingen, als de groeimedia-industrie als de organische meststoffenindustrie.

Daarnaast is een aantal andere maatregelen besproken waaronder:

- Verbeterde meetmethoden voor organische stof en voor micro-organismen. De gangbare voor de praktijk toegankelijke methoden voor organische stof onderscheiden te weinig typen. Er moet dus een algemeen gebruikte methode gekozen worden die veel meer onderscheid levert. De microbiële methoden zijn enorm in aantal toegenomen maar zijn maar matig kwantitatief te koppelen met in praktijk meetbare effecten. Hier wordt aanbevolen tot één of enkele standaard veldtesten te komen om de relatie met de uitwerking in de praktijk te versterken.
- Het definiëren van gewenste activiteit en gewenste functionele groepen; op dit moment zijn er maar 4-5 functionele groepen waarvan we weten dat ze de weerbaarheid in de kas beïnvloeden. Het is waarschijnlijk dat er veel meer functionele groepen zijn met effecten op de weerbaarheid in de kas. Voorgesteld wordt metingen van het metaboolom te gebruiken om hier lijn in te brengen, maar deze keuze sluit andere benaderingen niet uit.
- Het bestuderen van mengeffecten van groeimediabestanddelen. De meeste groeimedia worden niet puur gebruikt maar in mengsels. Een groot aantal groeimediabestanddelen kan zelfs niet puur gebruikt worden zonder het gewas te schaden (bijvoorbeeld compost of biochar). Het beleid moet het werken met mengsels juist omarmen omdat hierdoor materialen hergebruikt kunnen worden die puur niet te gebruiken zouden zijn.
- Klei. Van klei is bekend dat het in combinatie met organische stof een belangrijke impuls geeft aan de microbiële activiteit. Dit is in groeimedia nog nauwelijks onderzocht maar zou effectief kunnen zijn.
- Microbiële continuïteit tussen opkweek-doorteelt. Er zijn veel maar onsamenhangende indicaties dat het opkweken in één groeimedum gevolgd door overplanten in een ander groeimedum de plant dwingt zich aan te passen, soms ten koste van groei en weerbaarheid. Dit onderwerp verdient meer aandacht.

In dit rapport zijn groeimedia als weerbaarheidsfactor in een breder kader geplaatst, zodat toepassingen niet door een verkeerde combinatie met andere factoren verstoord worden. Het zou een vergissing zijn individuele groeimedia op zichzelf te beoordelen. Als een groeimedum veel compost bevat, kan er nog maar weinig organische mest toegepast worden (anders wordt het microbiel systeem te actief, met ziekten als gevolg). Omgekeerd geldt dat wie veel organische mest wil gebruiken mogelijk geen compost in het groeimedum kan gebruiken. Ook hebben de abiotische factoren temperatuur, vochtgehalte, zuurgraad en zuurstofaanvoer invloed op de uiteindelijke activiteit van micro-organismen. Er is dus een holistische beoordeling van de rol van groeimedia bij de weerbaarheid nodig. Dat houdt o.a. in dat in onderzoek niet alleen elk deelaspect door een aangewezen expert wordt uitgevoerd, maar dat de experts samen en bij voortduring bediscussiëren hoe elke expertise bijdraagt aan het grotere kader.

1 Introductie

1.1 Achtergrond

In het uitvoeringsprogramma van de Toekomstvisie gewasbescherming 2030 (UP GB) is een actie opgenomen waarin staat dat onderzocht wordt welke aanvullende acties er nodig zijn voor het verbeteren van weerbaarheid in andere groeimedia dan bodems. Daarbij wordt nadrukkelijk gekeken naar de bedekte teelten (bijv. onder glas of plastic) (actie 4.2.1 in UP GB).

Voor het invullen van deze actie uit het UP GB is Wageningen UR gevraagd om een brede wetenschappelijke inventarisatie uit te voeren van de kansen en knelpunten van groeimedia en de mogelijkheden om de weerbaarheid daarvan te verhogen. Bij de kansen en knelpunten wordt naar ontbrekende kennis gekeken, maar ook breder, naar belemmeringen in de wetgeving, marktorganisatie, communicatie en dergelijke. De resultaten van dit onderzoek worden weergegeven in dit rapport, en leveren de basis voor verdere acties vanuit het uitvoeringsprogramma zodat de potentie van de weerbaarheid van groeimedia ten behoeve van weerbare teeltsystemen benut kan worden.

Dit rapport draagt bij aan het Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma (MMPI) A2 Gezonde, weerbare bodem- en teeltsystemen, gebaseerd op agro-ecologie en zonder schadelijke emissies naar grond- en oppervlaktewater.

De term groeimedium wordt vaak gebruikt voor zowel groeimediabestanddelen als voor mengsels van groeimediabestanddelen. De groeimediabestanddelen worden constituenten genoemd in het vakjargon (en de bijgevoegde literatuurlijst). De term "groeimediabestanddeel" omvat ook materialen die niet zelfstandig als groeimedium te gebruiken zijn zoals bijvoorbeeld compost. Compost heeft eigenschappen zoals het voedingszoutgehalte, waardoor het niet geschikt is om onverdund op te telen (van Dam en de Vlaam, 2022). Daarom wordt compost alleen gemengd met een behoorlijk volume-aandeel andere materialen aangeboden als groeimedium. Ook bijvoorbeeld houtvezel is tot nu toe niet in percentages hoger dan 50 volumepercenten gebruikt in mengsels (Eveleens e.a., 2021). Het aantal in Nederland gebruikte mengsels loopt in de duizenden en is in wezen onbeperkt.

1.2 Probleemstelling

De partijen van het UP GB willen acties kunnen vaststellen waarmee de weerbaarheid van groeimedia anders dan bodem voor binnen- en bedekte teelten kan worden verhoogd. Er is echter onvoldoende inzicht in de beschikbare groeimedia, in kansrijke nieuwe groeimedia (tijdshorizon tot 2030), en de mate waarin deze nu worden meegenomen in kennisontwikkeling en -valorisatie over weerbaarheid in bodem en groeimedia.

Daarbij staat weerbaarheid van het groeimedium hier voor de mate waarin het gewas beschermd wordt tegen ziekten, plagen en onkruiden door het groeimedium in brede zin, dus het gewas in samenspel met diverse factoren van het groeimedium zoals structuur, chemisch eigenschappen, microbiom (zie ook UP GB).

1.3 Projectdoelstelling

Het doel van het in dit rapport weergegeven onderzoek is op basis van literatuur en interviews antwoord te geven op de volgende vragen:

1. Welke groeimedia (anders dan bodems) zijn beschikbaar of in ontwikkeling in de bedekte teelten?
2. Welke aanvullende maatregelen zijn mogelijk om de weerbaarheid van deze media te verhogen?
3. In welke mate worden alternatieve groeimedia op dit moment meegenomen in kennisontwikkeling en -valorisatie over weerbaarheid in bodem en groeimedia?
4. Welke kansen of belemmeringen zijn er voor structurele verankering van alternatieve groeimedia voor (al dan niet bredere) toepassing in de praktijk en in kennisontwikkeling en -valorisatie?

Met de antwoorden op deze vragen moet dit rapport richting geven aan aanvullende acties om de weerbaarheid van alternatieve groeimedia in de praktijk te verhogen en deze structureel te adresseren.

Het onderzoek beperkt zich tot groeimedia gebruikt in alle typen bedekte teelten en acties die daarbij de weerbaarheid kunnen verhogen (zoals aanpassen organische stofgehalte, structuur of toevoegen biostimulanten). Het onderzoek betreft geen bodem/grondteelten. Het onderzoek omvat wel alternatieve groeimedia anders dan venige potgrond en steenwol in bedekte teelten.

1.4 Werkwijze

NB: Het commentaar van de betrokken partijen gaf vaak aanleiding tot een extra verduidelijking, verdieping of voorbeeldberekening. Daar waar dit tot meerdere regels technische uitleg leidde, en daar waar meningen nog uiteenlopen, zijn de teksten in kaders geplaatst (Box 1-8).

De werkwijze omvatte vier stappen:

1. Inventarisatie groeimedia anders dan bodem.
2. Inventarisatie aanvullende maatregelen ten aanzien van weerbaarheidsverhoging van de geïdentificeerde groeimedia.
3. Wittevlekkenanalyse onderzoeks- en valorisatieprojecten.
4. Identificeren van kansen en belemmeringen voor structurele verankering in kennisontwikkeling en -valorisatie.

Ad. Stap 1. Inventarisatie groeimedia anders dan bodem.

- Het projectteam voerde een brede inventarisatie (literatuur) uit van alle beschikbare en in ontwikkeling zijnde groeimedia, en maakte een concept longlist van groeimedia met potentie voor de beoogde transitie (tijdshorizon 2030).
- Mede op basis van de kennis uit de literatuurinventarisatie werd een lijst opgesteld met te interviewen experts (intern, extern) en vertegenwoordigers van de betrokken partijen uit het UP GB.
- De geselecteerde experts en partijen uit het UP GB werden geïnterviewd waarbij de resultaten van de inventarisatie (inclusief longlist) werden besproken voor aanvullingen en feedback. Hieruit volgde een shortlist met groeimedia met potentie. De shortlist betrof die materialen waarvan de maatregelen t.b.v. weerbaarheid konden worden vastgesteld en die binnen de Nederlandse context voor telers relevant kunnen zijn of worden.
- De inventarisatie werd aangevuld en bijgesteld op basis van bovenstaande interviews en afstemming.

Ad. Stap 2. Inventarisatie aanvullende maatregelen t.a.v. weerbaarheidsverhoging van de geïdentificeerde groeimedia.

- Er werd een concept toetsingskader voor het beoordelen van maatregelen en hun samenhang opgesteld om te bepalen welke maatregelen telers kunnen treffen om via sturing van groeimediefactoren een weerbaarder gewas te realiseren. Dit toetsingskader bestaat uit een definitie van weerbaarheid met de voor groeimedia weerbaarheidsbepalende factoren en een uitwerking van de definitie tot een aantal criteria. De criteria volgden uit literatuurstudie en geven wenselijke waarden voor (nu nog indicatief) functionele groepen, microbiële activiteit, stabiliteit van de microbiële populatie, omgevingsfactoren en de snelheid waarmee microbiële voeding vrijkomt.

Box 1: Uitleg functionele groep

Een functionele groep bestaat uit alle soorten micro-organismen die een gewenste actie verrichten (bijvoorbeeld de productie van een schimmelremmer of de afbraak van een signaalstof). De micro-organismen in een functionele groep delen het genetisch gereedschap om één bepaalde omzetting mogelijk te maken, maar zijn vaak niet sterk verwant. Het voordeel van een functionele groep is dat bij voldoende aanbod van een om te zetten stof, de invloed van abiotische factoren als temperatuur, zuurgraad, watergehalte en luchtgehalte minder invloed heeft op de activiteit.

- Het concept toetsingskader inclusief factoren werd met LNV afgestemd en besproken met betrokken partijen uit het UP GB.
- Vervolgens werd een literatuurstudie uitgevoerd naar aanvullende maatregelen die de weerbaarheid verhogen van de geïnventariseerde groeimedia (vastgelegd in de shortlist). Deze studie omvatte alle typen bedekte teelten en alle maatregelen die de weerbaarheid kunnen verhogen, zoals aanpassen organische stofgehalte, structuur van groeimedium, temperatuur, toevoegen biostimulanten, en dergelijke.
- Geselecteerde experts (inclusief vertegenwoordigers van de betrokken partijen uit het UP GB) werden bevraagd op aanvullende maatregelen en hen werden de resultaten van de literatuurstudie voorgelegd voor feedback.
- Het concept toetsingskader en de inventarisatie van aanvullende maatregelen werden aangevuld en bijgesteld op basis van bovenstaande interviews en afstemming.

Box 2: Uitleg dilemma biostimulanten en gewasbeschermingsmiddelen

De EU-definitie uit de meststoffenverordening is richtinggevend (Council of the European Union, 2018). De EU-definitie is: "'biostimulant voor planten': een product dat de voedingsprocessen van een plant stimuleert onafhankelijk van het gehalte aan nutriënten van het product, met als enige doel een of meer van de volgende eigenschappen van de plant of de rhizosfeer van de plant te verbeteren: a) de efficiëntie van het gebruik van nutriënten; b) de tolerantie voor abiotische stress; c) kwaliteitskenmerken; d) de beschikbaarheid van in de bodem of in de rhizosfeer vastgehouden nutriënten."

De bovenstaande EU definitie geeft aan dat een biostimulant met gewasbeschermingsclaims geen biostimulant mag heten en dus beoordeeld moet worden als gewasbeschermingsmiddel. Nefyto steunt deze regelgeving maar vindt dat er ruimte gemaakt kan worden voor een getrapte beoordeling met beperkte verplichtingen in de laagste trap. Vanuit Artemis stelt men dat de Nederlandse meststoffenwet leidend is en dat Nederland de vrijheid heeft om middelen die geen gewasbeschermingswerking claimen of een meervoudige werking hebben (bijvoorbeeld voedingsopname en weerstand van de plant tegen ziekte) onder te brengen bij de biostimulanten of anderszins markttoegang te verlenen. Ook hier is een aanmelding nodig en spelen criteria een rol (denk aan werkingsmechanisme en gebruikte concentratie). Het is een wens van beide partijen dat het ministerie van LNV initiatief neemt, om in constructief overleg tot een werkbaar instrumentarium te komen.

Vanuit een maatschappelijk perspectief is er, volgens de schrijvers van dit rapport, behoefte aan een eenvoudiger toetsing dan voorgeschreven voor gewasbeschermingsmiddelen. Gedacht kan worden aan getrapte beoordelingen of beslisbomen. Doel is de van nature in de groeimediabestanddelen voorkomende micro-organismen te stimuleren door het aanbieden van geschikte groeistimulerende middelen te weten: niet-microbiële organische toevoegingen, organische meststoffen en groeimediabestanddelen. Deze microbiële stimulatie is niet per sé risicoloos omdat groeimediabestanddelen ook incidenteel microbiële risico's voor plant en mens kunnen bevatten. Een nadere regelgeving is daarom redelijk maar het toelatingsinstrumentarium voor gewasbeschermingsmiddelen is te veeleisend en remt daardoor gewenste marktontwikkeling. Voor microbiële toevoegingen geldt grotendeels hetzelfde al zal het nog moeilijker zijn hier een onderscheid te maken met de micro-organismen die ingezet worden als gewasbeschermingsmiddel.

Ad. Stap 3. Wittevlekkenanalyse: in welke mate is er aandacht voor groeimedia anders dan bodem in de huidige onderzoeks- en valorisatieprojecten?

- Er werd onderzocht in welke mate de geïnventariseerde groeimedia en de weerbaarheid verhogende maatregelen (uit stap 1 en 2) zijn meegenomen in lopend publiek/privaat onderzoek (nu en richting 2030). Dit betrof de kennisontwikkeling en -valorisatieprojecten op gebied van weerbaarheid in bodem en groeimedia.
- Vervolgens werden de bij stap 1 geselecteerde experts bevraagd op aanvullingen en feedback op deze wittevlekkenanalyse.
- De wittevlekkenanalyse is aangevuld en bijgesteld op basis van bovenstaande interviews en afstemming.

Ad. Stap 4. Identificeren van kansen en belemmeringen voor structurele verankering in kennisontwikkeling en -valorisatie.

- Met als vertrekpunt de wittevlekkenanalyse en de maatregelen benoemd in stap 2 is een brede inventarisatie (literatuur) uitgevoerd naar kansen en belemmeringen voor structurele verankering van de geïnventariseerde groeimedia anders dan bodem en weerbaarheidverhogende maatregelen in kennisontwikkeling en -valorisatie. De kansen en belemmeringen betreffen dus niet alleen technische aspecten, maar ook belemmeringen of kansen op economisch, juridisch (wetgeving) en sociaal-maatschappelijk vlak.
- Vervolgens werden de bij stap 1 geselecteerde experts (inclusief vertegenwoordigers van de betrokken partijen uit het UP GB) bevraagd om kansen en belemmeringen (in brede zin) aan te geven.
- De geïdentificeerde kansen en belemmeringen werden vervolgens aangevuld en bijgesteld.

Uiteraard is de behandeling van dit onderwerp beperkt in tijd en middelen. Daarom zijn sommige illustratieve tabellen (zoals 8 en 9) zonder uitgebreide onderbouwing gebleven en is in de witte vlekken analyse geen niet-WUR onderzoek opgenomen. Zelfs het krijgen van een overzicht van WUR-onderzoek was verrassend tijdrovend.

1.5 Leeswijzer

In aansluiting op de bovenbeschreven paragraaf “Werkwijze” wordt in de hoofdstukken 2 t/m 5 het volgende beschreven:

In hoofdstuk 2 wordt op basis van literatuur en interviews een overzicht gegeven (longlist) van alle groeimedia (anders dan bodem) die nu in gebruik zijn, en van alle nieuwe groeimedia die in de periode tot 2030 op de markt komen of van belang kunnen worden, inclusief een shortlist van groeimedia met potentie voor de beoogde transitie (shortlist).

Inhoudelijke duiding: 1) Er is een onderscheid gemaakt tussen groeimediabestanddelen (de pure materialen) en groeimedia het medium waarin geteeld wordt, soms een puur materiaal maar vaker een mengsel van groeimediabestanddelen. Belangrijk is dat sommige groeimediabestanddelen bijvoorbeeld compost of biochar, niet puur te gebruiken zijn. Juist door het slim toepassen van mengsels kunnen materiaalstromen ingezet worden die anders onbruikbaar zouden zijn. De niet-puur toepasbare groeimediabestanddelen zijn dus belangrijke categorie voor beleid en onderzoek. 2) In hoofdstuk 2 wordt geschreven alsof groeimedia de enige of doorslaggevende manier zijn om weerbaarheid in het wortelmilieu vorm te geven. Dat is echter niet het geval. In Hoofdstuk 3 worden groeimedia in het bredere kader van een teeltsysteem geplaatst, en wordt beargumenteerd dat weerbaarheid sterk afhangt van de totale activiteit van micro-organismen. Dit bredere kader moet voorkomen dat groeimediatoepassingen worden afgeschreven die in combinatie met beter gekozen andere factoren voldoende weerbaar zijn.

Hoofdstuk 3 geeft een wetenschappelijke beschrijving op basis van literatuur en interviews van mogelijke aanvullende maatregelen om de weerbaarheid van de geïnventariseerde groeimedia (in de praktijk) te verhogen. Er wordt een definitie van weerbaarheid gegeven en een toetsingskader met criteria voor het beoordelen van de maatregelen. Er is aparte aandacht voor maatregelen die telers nu technisch gezien al kunnen nemen.

Inhoudelijke duiding: In hoofdstuk 3 worden de meeste groeimediabestanddelen beoordeeld op een algemene weerbaarheid. De algemene weerbaarheid is het vermogen te voorkomen dat ziekteverwekkers zich sterk vermeerderen door de aanwezigheid van een hoge (maar niet te hoge) activiteit en diversiteit van het microbioom. Naast groeimediabestanddelen worden er andere materialen besproken die, gemengd in de wortelomgeving, ook bij specifieke ziekteverwekkers kunnen voorkomen dat ze planten ziek maken.

In hoofdstuk 4 wordt de wittevlekkenanalyse weergegeven. Het geeft overzicht van lopend publiek/privaat onderzoek en valorisatieprojecten (nu en richting 2030), en er wordt beschreven in hoeverre gebruik gemaakt wordt van de potentie van de groeimedia en eventuele maatregelen om bij te dragen aan de weerbaarheid. Ook wordt beschreven welke kansen nog onbenut zijn met het oog op de beoogde transitie.

Tenslotte wordt in hoofdstuk 5 een overzicht gegeven van de kansen en belemmeringen bij het benutten van het volle potentieel van maatregelen die de weerbaarheid van groeimedia bepalen (zowel in de praktijk als in onderzoek).

Het commentaar van de betrokken partijen gaf vaak aanleiding tot een extra verduidelijking, verdieping of voorbeeldberekening. Daar waar dit tot meerdere regels technische uitleg leidde, en daar waar meningen nog uiteenlopen, zijn de teksten in kaders geplaatst (Box 1-8).

1.6 Projectorganisatie

Het Ministerie van LNV was vraagsteller en initiatiefnemer. Vanuit Wageningen University & Research waren Ellen Beerling, Chris Blok, Marta Streminska en Alexander Boedijn betrokken. De projectleiding en organisatie lag bij Chris Blok die ook de meeste basisteksten schreef. Ellen Beerling zorgde voor procesbegeleiding en inhoudelijk commentaar. Marta Streminska en Alexander Boedijn leverden inhoudelijk commentaar en schreven specialistische tekstdelen. Later in het project hebben ook Annelein Meisner en Caroline van der Salm inhoudelijk bijgedragen.

2 Inventarisatie groeimedia anders dan bodem

2.1 Longlist

Om te achterhalen welke groeimedia nu in gebruik zijn, en richting 2030 in gebruik zullen komen, is relevante literatuur onderzocht. Om een volledig en genuanceerd beeld van de literatuur te krijgen is een zoekstrategie gevolgd. Daar waar andere bronnen bekend waren of opdoken zijn deze ook meegenomen. De strategie richtte zich op de volgende bronnen:

- De bekendste handboeken op het gebied van groeimedia. Voordeel is dat deze boeken een overzicht geven, trends vermelden en zich vaak aan een voorspelling wagen van de nabije toekomst.
- Reviews in wetenschappelijke tijdschriften. Ook reviews geven een overzicht van bekende groeimedia, vermelden trends en geven soms een voorspelling van toekomstige materialen.
- Artikelen in symposia Proceedings van de belangrijkste symposia op het gebied van groeimedia, composten en teelten zonder aarde. Hierin worden de nieuwste materialen maar ook veel niet praktisch toepasbare pogingen gerapporteerd. Kritische vragen en oog voor een bredere context ontbreken wat vaker.
- Artikelen in wetenschappelijke tijdschriften van auteurs die al opvielen in de eerste drie bronnen. Voordeel is dat deze artikelen vaak meer detail leveren dan de Proceedings. Hierbij is ervoor gekozen alleen artikelen te noemen bij die materialen die nog niet goed beschreven zijn in de handboeken en reviews. Eén literatuurtabel uit een goed onderbouwde review is opgenomen als Bijlage 3.
- Wat verder ter tafel kwam; nuttige andere bronnen zoals overzichten van NEN en Rijkswaterstaat.

In de beschreven periode van ongeveer 30 jaar heeft de teelt op groeimedia een grote vlucht genomen. Wereldwijd zijn vele honderden materialen onderzocht en gerapporteerd op bruikbaarheid als groeimedium. In Bijlage 1 staat de longlist weergegeven, opgesplitst in een detaillijst met teeltmedia exclusief composten/organische reststromen (Tabel B1.1 en B1.3) en een detaillijst met composten/organische reststromen, met daarbij de geraadpleegde literatuur (resp. Tabel B1.2 en B1.4).

De longlist in Bijlage 1 is lang. Er is een ruwe, in de praktijk gangbare indeling toegevoegd in mineraal, organisch biologisch (in de zin van plantaardige of dierlijke oorsprong) en organisch synthetisch (vaak olie-gebaseerd). Binnen organisch biologisch is aangegeven welke materialen plantenrestproducten zijn, welke mest bevatten en welke overige organische restproducten zijn. De indeling is ook in de wetenschap in gebruik omdat de klassen een grove indicatie geven welke specifieke kwaliteitstesten relevant zijn voor de materialen. Deze indeling kan niet altijd consequent doorgevoerd worden: rubber is biologisch maar gedraagt zich na vulkaniseren (vulkaniseren: harden met hitte en zwavel) meer als synthetisch granulaat; bokashi is een mengsel van zowel planten als mest (dat wordt gefermenteerd).

2.2 Criteria voor een shortlist met relevante materialen voor Nederland

Om de longlist terug te brengen tot relevante materialen die in Nederland een rol kunnen spelen, zijn criteria opgesteld, vanuit verschillende (stakeholder) perspectieven, namelijk het perspectief van de maatschappij, verwerkers van organische reststromen, de potgrondindustrie, producenten van circulaire meststoffen en telers. Hierbij is de volgorde van de productieketen gevolgd maar is begonnen met maatschappelijke criteria omdat deze grote invloed hebben op de winning en verwerking van grondstoffen. Sommige onderwerpen leidden tot meer dan één criterium en daarnaast bleken er per stakeholdergroep specifieke aandachtspunten te zijn die worden verzameld met het oog op ondersteunend beleid in paragraaf 2.4. Criteria en aandachtspunten zijn niet apart genummerd omdat in de hier gekozen structuur van stakeholder perspectieven, de criteria en aandachtspunten zo in samenhang besproken worden. In Tabellen 2-5 geven, voorafgaand aan de bespreking van de criteria, een overzicht.

Het gaat in deze paragraaf niet zozeer om de beschikbaarheid, maar om de bruikbaarheid op praktijkschaal. Zo vallen op zich ruim beschikbare grondstoffen af die te duur, planttoxisch of illegaal zijn.

Box 3: Uitleg circulariteit en lokaal gebruik

Bij circulariteit wordt in dit rapport verondersteld dat zowel lokale groeimediabestanddelen als groeimediabestanddelen van verder gelegen plaatsen gebruikt worden. Een voorkeur voor lokaal zit deels gevangen in de CO₂-emissiecriteria, waarmee transport impact wordt meegenomen. Er is echter geen apart afstandscriterium gehanteerd. Een ander argument ten gunste van lokale groeimediabestanddelen, is dat verder gelegen plaatsen soms hun landbouwproductievermogen exporteren. Bij voortdurende afvoer van nutriënten en organische stof, zonder aanvoer daarvan, zullen landbouwgronden ingrijpend verarmen. Dat risico bestaat bij bijvoorbeeld kokos, hout en barkproducten. Voor landbouwsystemen is niet per se nodig dat groeimediabestanddelen teruggebracht worden naar de oorsprongsgronden, maar wel dat bodemvruchtbaarheid en organische stofgehalten op peil blijven. Er is voorlopig geen criterium opgenomen voor herstel van het productievermogen in de oorsprongsgebieden van groeimediabestanddelen.

Maatschappelijke criteria

Een groeimediabestanddeel moet duurzaam, milieuvriendelijk en legaal zijn (Gruda, 2020). Gruda 2020 specificeert verder: geringe inzet van energie en water bij productie, het waarborgen van minimale arbeidsnormen, continuïteit van habitat en biodiversiteit van de winningsomgeving. Sinds de tachtiger jaren is steeds duidelijker bezwaar gemaakt tegen het gebruik van sommige groeimediamedialen (Barret and Brough 2014; Bragg e.a., 2016). Daarnaast worden ook eisen gesteld aan verwerken van het materiaal na het gebruik (End Of Life (EOL)). Tenslotte zijn er nog maatschappelijke thema's die in toenemende mate relevant worden, zoals een voorkeur voor biobasedmaterialen en een eis van biodegradeerbaarheid voor sommige materialen. Tabel 1 geeft een overzicht van de maatschappelijke criteria.

Tabel 1

Maatschappelijke criteria voor het gebruik van groeimedia en het al dan niet kwantitatief zijn van de criteria.

Nr.	Criterium	Gekwantificeerd	Opmerking
1	CO ₂ footprint	ja	
2a	Footprint energie	nee	Deels in CO ₂ criterium
2a	Footprint water	nee	
2b	Minimale arbeidsnormen	nee	
2c	Ecol. footprint (incl. biodiversiteit) bij winning	soms	In lokale wetgeving
3	Footprint bij End Of Life (EOL)	nee	
4	Legaal	ja	
5	Biobased	nee	Niet aanbevolen criterium
6	Biologisch afbreekbaar	ja	

1. Een lage koolzuurgasuitstoot. De uitstoot van niet circulair koolzuurgas veroorzaakt een ongewenste opwarming van de aarde. De belangrijkste bijdragen van groeimateriaal zijn de uitstoot van koolzuurgas na het oogsten van veenlagen (Verhagen e.a., 2009), het verbruik van fossiele energie voor transport van materialen over langere afstanden zoals kokos uit India en het gebruik van fossiele energie voor het produceren van steenwol en perliet (Quantis, 2012). Het onderling belang van deze argumenten uitgedrukt in eenheden koolzuurgasuitstoot per eenheid beteeld oppervlakte loopt sterk uiteen, namelijk 100:10:1 voor veen:kokos:steenwol (Blok 2020). Hier blijkt het belang van het uitgangspunt (op welke basis wordt vergeleken) en de kwantificering. Helder geformuleerde en kwantitatieve uitgangspunten dienen niet alleen om een eerlijke afweging te maken, maar ook om andere deskundigen de kans te geven de uitgangspunten ter discussie te stellen. Hier is als criterium gekozen de gesommeerde uitstoot van koolzuurgas bij winning, gebruik en end-of-life, uitgedrukt per m² teelt. De koolzuurgasemissies bij winning, gebruik en end-of-life zijn vrij goed gedocumenteerd (Quantis, 2012, Blok, 2020). Een voorstel voor een kwantitatief criterium is dat de koolzuurgasemissie uitgedrukt per-m² teelt per jaar, minder moet zijn dan de uitstoot van koolzuurgas overeenkomend met één-m³ gas per-m² teelt per jaar. De grens van 1 m³/m²/jr is gekozen om de koolzuurgas emissie gerelateerd aan groeimateriaal lager te maken dan 5% van de door verwarming veroorzaakte koolzuurgas emissie voor de meeste teelten. Voor verwarming wordt dus een verbruik verondersteld groter dan 20 m³/m² per jaar. Daarmee valt kokos wel binnen de criteria en veen niet. NB1: hier is de vergelijking met opzet gemaakt per m² teelt. Dit is een beter uitgangspunt dan de verwarrende rapportage per ton of m³ groeimedium omdat het de gebruiksefficiëntie per beteeld oppervlakte ten opzichte van andere materialen uitdrukt. NB2: te overwegen valt het criterium later nog te laten aansluiten op de HortiFootprint/FloriPEFCR methode, mits alle te verwachten koolzuurgasemissies, toegerekend aan alle economische activiteiten, gesommeerd blijven. Eventueel kunnen nieuwe criteria uit de HortiFootprint/FloriPEFCR groeimateriaal beoordeling worden toegevoegd (Helmes e.a., 2020).
2. Een tweede criterium bestaat uit de combinatie geen overmatige inzet van energie en water bij productie (footprint energie respectievelijk water), het waarborgen van minimale arbeidsnormen en continuïteit van habitat en biodiversiteit van de winningsomgeving (Gruda, 2020). De meeste punten in dit tweede criterium zijn nog niet vertaald in heldere kwantitatieve grenzen (zie ook paragraaf 2.4). Productie/winning van het materiaal moet zonder vervuiling van de omgeving, zonder blijvende schade aan de omgeving en zonder uitputting van hulpbronnen plaatsvinden. Bij veenwinning is dit (afgezien van de al genoemde koolzuurgasuitstoot bij EOL) het meest in het oog lopend omdat het landschap wordt aangetast en zonder maatregelen de ontwatering van het wingebied ook de verdere omgeving aantast. Dit is ook de reden dat, alleen voor veen, een keur is ingesteld waarbij gegarandeerd wordt dat de winning geen nieuwe gebieden aantast en waarbij de vervener zowel het waterpeil in de omringende als in het achtergelaten gebied stabiliseert (Responsibly Produced Peat RPP-keur, Schmilewski, 2014). Ook de winning van steenwol, perliet, klei en zand leidt tot veranderingen in het landschap. Of die veranderingen aanvaardbaar zijn is soms in lokale wetgeving vastgelegd maar nog niet in eenduidige criteria voor groeimateriaal vertaald (zie ook paragraaf 2.4).
3. Na End Of Life (EOL) moet het materiaal de omgeving niet vervuilen en hergebruikt kunnen worden.
 - a. Denk hierbij naast het vrijkomen van koolzuurgas bij winnen en end of life van veen (hiervoor behandeld), aan de accumulatie van plastics uit composten of de accumulatie van zware metalen van slib of digestaatslib, beide bij herhaald toepassen. Als criteria voor de ophoping van de zogenaamde impurities (glas, metaal, plastic, steen) wordt voorgesteld een oud voorstel voor Europese normen (Blok, 2007) te combineren met de al bestaande normen voor groeimateriaal in de teelt (RHP, 2021). Als criteria voor het beheersen van de ophoping van zware metalen wordt voorgesteld de al bestaande normen voor groeimateriaal in de teelt te gebruiken (RHP, 2021). Voor beide: zie ook punt 18, de criteria bij telers.
 - b. Het materiaal moet na gebruik gerecycled of breder cyclisch hergebruikt kunnen worden (Gruda, 2020). Van bijzonder belang zijn bewerkingen waardoor het organische stofgehalte van landbouwgronden opgehoogd kunnen worden. Dit kunnen resten zijn van groeimateriaal als kokos en compost maar nog interessanter zijn gestabiliseerde koolstofmaterialen zoals biochar, hydrochar en torrefactiematerialen. Deze stoffen kunnen leiden tot een toename van het organische stofgehalte in bodems en dragen dan bij aan een negatieve koolzuurgasuitstoot. Dit biedt de kans dat de EOL van groeimateriaal, in plaats van koolzuurgasneutraal, zelfs koolzuurgas regeneratief kan zijn (Fryda e.a., 2015). Ook voor cyclisch gebruik ontbreken nog helder regels (zie ook paragraaf 2.4).

4. Materialen moeten legaal verkrijgbaar zijn (Bragg e.a., 2016). De wet verbiedt nu het importeren van afval uit andere landen. Ook zijn er normen voor het op het land brengen van stikstof en fosfaat in dierlijke mest. Deze regels belemmeren soms het ontwikkelen van groeimedia, niet alleen door directe verboden, maar ook omdat daar waar een wet zaken niet klip en klaar verbiedt, lagere overheden ervoor kiezen geen risico te lopen. Een voorbeeld is het importeren van biochar gebaseerd op dierlijk materiaal (van Hooijdonk, 2022). De Stichting Innovatie Glastuinbouw Nederland probeert in dit soort gevallen ondersteuning te bieden.
5. Materialen moeten biobased zijn, vanuit een zekere maatschappelijke afkeer van niet circulaire minerale groeimedia. Deze indirecte eis voor volledige circulariteit is niet overgenomen als criterium. Dit zou namelijk alle gedolven materialen als zand, klei, vermiculiet et cetera uitsluiten. Daarmee zou de tuinbouw zich grondstoffen onttrekken die in de maatschappij nog volop geaccepteerd zijn. Binnen de gedolven materialen is wel discussie over bewerkte vormen zoals steenwol en perliet, maar deze kunnen voorlopig worden beoordeeld met het criterium van de CO₂ uitstoot (punt 1).
6. Organische kunststoffen moeten biologisch afbreekbaar zijn. Hier is als criterium de Europese norm voor vertering van plastic verpakking voorgesteld (CEN-13432, 2017). Hierdoor vallen bijna alle traditionele kunststofmaterialen af, zowel schuimen als vezels. Alleen ureumformaldehyde breekt mogelijk voldoende af om binnen deze norm te vallen. Impliciet moeten kunststoffen ook biobased zijn omdat anders de koolzuurgasuitstoot (criterium 1) beperkend wordt. Inmiddels zijn er steeds meer biobased en biodegradeerbare plastics en worden de eerste hierop gebaseerde groeimedia al aangeboden op de markt.

Criteria vanuit de verwerkers van organische reststromen

De verwerkers van organische reststromen (met name composteerders) zijn van oudsher meer gericht op volleggronds- en consumententoepassingen. Dit is echter voor een deel van de betrokken bedrijven aan het veranderen. Hierbij spelen de inkomensstructuur en de lokale wetgeving een remmende rol. Daarnaast bestaat er in de rapportages soms grote onduidelijkheid over de werkelijk leverbare hoeveelheden voor de groeimediamarkt.

Tabel 2

Criteria vanuit de verwerkers van organische reststromen voor het gebruik in groeimedia en het al dan niet kwantitatief zijn van de criteria.

Nr.	Criterium	Gekwantificeerd	Opmerking
7	Afbreekbaarheid	ja	
8	Verdienmodel	-	Maatschappelijke organisatie
8	Rapportage van output hoeveelheden	ja	Wens

7. Zoals uit de indeling van de longlist al blijkt, ontstaan door nabewerking van organische reststromen, producten die voor de markt veel meer betekenen dan de ruwe organische materialen. Het gaat hier om bulkprocessen als zeven, breken, malen, wassen, composteren, her-composteren van geselecteerde fracties, beluchten, torrefaciëren, hydrocarboniseren, gassificeren, pyrolyseren en mengen. Vanuit de telers en potgrondindustrie, maar ook vanuit de eigen productiecontrole op uitgerijptheid, is stabiliteit een belangrijk criterium. De verwerkers hanteren daarnaast nog eigen criteria als een minimale temperatuur-duur grens en een minimale en maximale koolstof:stikstof (C:N) verhouding. Telers/potgrondproducenten eisen tegenwoordig grenswaarden voor stabiliteit van materialen volgens de OUR-test (meetwaarde in mmol O₂/kg Droge Organische Stof/uur zoals beschreven in Blok e.a., 2009). Het criterium is < 12 voor bijmengen tot 20%v/v en <6 voor bijmengen boven de 20%v/v (in mmol O₂/kg Droge Organische Stof/uur). Een aandachtspunt is dat tot nu toe, bij het onderzoek voor de verwerkers, de potgrondbedrijven en de telers niet sterk betrokken zijn geweest (zie ook paragraaf 2.4).

8. In de huidige praktijk ontvangen verwerkers (composteerbedrijven) voor het ophalen van organische reststromen 5-6 keer zoveel geld per eenheid gewicht als voor de verkoop van het verwerkte gestabiliseerde eindproduct. Ook geldt er vaak een maximum voor de hoeveelheid reststoffen die op een terrein mogen worden opgeslagen. Hierdoor is het soms winstgeverder materialen van lage kwaliteit zo snel mogelijk na inname te verkopen, dan om, na tijdrovende bewerkingen, een kwalitatief goed eindproduct voor een hoger prijs af te zetten. Het stimuleren van een hoogwaardiger verwerking is een aandachtspunt voor paragraaf 2.4. Daarnaast gaat tijdens verwerking meestal ongeveer 50% van de massa verloren in de vorm van waterdamp en koolzuurgas. In de discussie over beschikbare hoeveelheden compost als groeimediabestanddeel gaat het om het aantal-m³ output van compost en niet om de soms genoemde aangevoerde hoeveelheden.

In toenemende mate brengen verwerkers van organische restmaterialen betaalde groeimedia terug in de keten als groeimedium en als bodemverbeteraar (Vandecasteele e.a., 2020). Bij hergebruik als groeimedium gaat het vaak om hergebruik in een minder veeleisende teelt, dus gecascadeerd hergebruik in plaats van volledige recirculatie. Hergebruik van de groeimedia van potplanten, die immers met de plant mee verkocht worden, verloopt via de inzameling van groenafval en verwerking tot gemengde compost. Voor de professionele teelt van vruchtgroenten en snijbloemen onder glas kunnen groeimedia-resten soms apart verwerkt worden tot een laagwaardige potgrondvervanger. In alle gevallen is het laatste gebruik als grondverbeteraar / meststof in de vollegrond. Gezien de chronisch te lage organische stofgehalten in de Europese akkerbouw is dit een nuttige end-of-life bestemming (Vandecasteele e.a., 2020).

Criteria vanuit de potgrondindustrie

In reactie op de maatschappelijke bedenkingen bij veengebruik is het gebruik van kokosresten, schorsproducten en houtvezelproducten in dertig jaar gegroeid van 10 naar 30%v/v (VPN, 2020). De ambitie is om in 2025 voor professioneel gebruik naar minimaal 35%v/v hernieuwbare grondstoffen te gaan en voor de consumentenmarkt naar minimaal 65%v/v. Daardoor is de belangstelling gegroeid voor lokaal geproduceerde organische reststromen zoals composten, digestaten, bermgras en dergelijke (Bragg e.a., 2016, Bijlage 3; Sanchez-Monedero e.a., 2019). Tot nu toe zijn uit die lokale organische reststromen geen grote stromen nieuwe groeimedia voortgekomen. Uit deze onderzoeken kunnen we een aantal criteria afleiden.

Tabel 3

Criteria vanuit de potgrondindustrie voor het gebruik van groeimedia en het al dan niet kwantitatief zijn van de criteria.

Nr.	Criterium	Gekwantificeerd	Opmerking
9	Economisch realistisch	ja	
10	Beperkte vervanging in mixen	ja	RHP-criteria per materiaal
11	Nederlands teeltniveau haalbaar	nee	
12	Omvang aanvoerstroom	ja	
13	Vrij van schadelijke stoffen en organismen	ja	RHP-criteria
14	Homogeen aanbod	nee	
15	Ontwikkelhorizon	ja	2030

9. Economische haalbaarheid. Sommige alternatieven zijn aangedragen zonder kennis van de eisen die in de tuinbouw -terecht- aan materialen worden gesteld, zodat voorbijgegaan wordt aan de kosten van voorbereidingen die nodig zijn om materialen breed geschikt te maken (Bragg e.a., 2016). Zo worden bijvoorbeeld materialen als zeegras en tuinbouwgewasresten voorgesteld. Zeegras is zout en het wassen van de massa maakt de prijs te hoog; tuinbouwgewasresten bevatten te hoge gehalten aan voedingselementen en de massa zelf is te instabiel. Uiteraard blijft het mogelijk dat nieuwe technieken in de toekomst zulke materialen wel binnen bereik brengen. Hier is als criterium gekozen voor een prijs die na bewerking niet boven de 50 Euro per-m³ mag uitkomen. De 50 Euro is gekozen, omdat dit de huidige topprijs voor groeimedium in de potplantenteelt is (Eveleens e.a., 2015).

10. Materialen als steenwol en kleikorrels kunnen ongemengd gebruikt worden. De meeste materialen in de lijst moeten echter gemengd worden voor ze te gebruiken zijn. Zo is digestaat bijna altijd te zout voor ongeremde plantengroei en heeft veel compost een te hoge pH (is basisch). Zulke materialen worden gemengd met specifiek gekozen andere materialen zodat het eindmengsel wel de gewenste eigenschappen voor de teelt heeft. Dit betekent dat het aandeel van sommige materialen in mengsels beperkt kan zijn tot minder dan 20%v/v.
11. De materialen worden beoordeeld met sterk wisselende criteria en met sterk wisselende methoden van bepalingen zodat het vaak onmogelijk is onderzoeken te vergelijken of zelfs maar op waarde te schatten (Bragg e.a., 2016). Hier volgt niet zozeer een criterium voor materialen uit als wel een aandachtspunt in paragraaf 2.4. Niet alle proeven zijn uitgevoerd onder in Nederland gebruikelijke teeltomstandigheden en hoge groeisnelheden. Deels is de teelt in sommige landen minder professioneel, deels telen de onderzoekers op een te vereenvoudigde manier. Dit betekent dat in vergelijkende teelten positieve producties worden gemeld voor materialen die in een Nederlands teeltsysteem forse groeiremmingen zouden geven. Een criterium is dus dat materialen getest zijn in een teeltsysteem bij Nederlandse opbrengstniveaus, watergift en bemestingsniveaus.
12. Onderzoeken gaan nogal eens voorbij aan commerciële randvoorwaarden zoals een voldoende aanbod van het geteste materiaal en aan wettelijke eisen bij het gebruik van sommige materialen (Bragg e.a., 2016; Schmilewski, 2017). Als voorbeeld van onvoldoende aanbod noemen we hazelnootschillen. Hazelnootschillen zijn alleen in Turkije in voldoende hoeveelheden voor lokaal gebruik beschikbaar. Hieruit volgt als criterium dat het materiaal beschikbaar moet zijn in economisch interessante hoeveelheden van minimaal > 100.000-m³/jaar. De hoeveelheid is gekozen omdat het voor een potgrondbedrijf interessant wordt te investeren in behandelingsapparatuur als er gedurende een langere periode minstens deze hoeveelheid kan worden verhandeld.
13. Onderzoeken gaan nogal eens voorbij aan commerciële randvoorwaarden zoals een voldoende aanbod van het geteste materiaal en aan wettelijke eisen bij het gebruik van sommige materialen (Bragg e.a., 2016; Schmilewski, 2017). Als voorbeeld van het niet voldoen aan wettelijke eisen noemen we slib uit varkensmest. Slib uit varkensmest bevat te veel zware metalen, met name koper. Als criterium volgt dat materialen vrij moeten zijn van stoffen die schadelijk zijn voor de gewassen, werkenden en consumenten. Deze normen zijn uitgewerkt tot grenswaarden voor vele specifieke stoffen en organismen (RHP, 2020; zie punt 14, criteria vanuit de telers). Voorstel is de bestaande RHP-normen te hanteren voor:
 - 1 - Zware metalen
 - 2 - PACs, VOCs (niet RHP maar EBI-normen, European Biochar Initiative)
 - 3 - Plantengroei remmende werking
 - 4 - Plant pathogenen
 - 5 - Humaan pathogenen
 - 6 - Resten van
 - i. Bestrijdingsmiddelen
 - ii. Medicijnen en drugs
 - iii. Groeimiddelen (remmers, hormonen)
 - iv. Ontsmettingsmiddelen / Reinigingsmiddelen
 - 7 - Onkruiden
14. Het materiaal moet over de seizoenen en jaren gelijkmatig van kwaliteit zijn (Gruda, 2020).
15. De tijdshorizon van deze inventarisatie loopt tot 2030. Dit betekent dat materialen die nog onderzoek vergen voor juiste voorbereiding en aangepaste teeltsystemen vaak niet binnen deze periode op de markt kunnen komen. Het kan wel zinvol zijn zulke materialen of methoden al in onderzoek te ontwikkelen.

Criteria vanuit circulaire meststoffen

Er is een beweging op gang gekomen waarbij lineaire meststoffen worden vervangen door circulaire meststoffen. Dit heeft gevolgen voor het maken van groeimedia en heeft ook veel invloed op de microbiële activiteit in de groeimedia. Omdat het voor micro-organismen niet uitmaakt of zij actief zijn door afbraak van materialen in het groeimedium dan wel door afbraak van circulaire (organische) meststoffen, worden circulaire meststoffen besproken als een integraal onderdeel van de groeimedia keten. Het gebruik van organische meststoffen zelf dient ook weer te voldoen aan een soortgelijke set strenge eisen die voor groeimedia genoemd zijn. Denk hierbij aan zaken als het vrij zijn van humaan pathogenen en het vrij zijn van antibiotica resistente genen. Dit soort eisen zijn hier niet herhaald omdat het rapport zich richt op de invloed van groeimedia op de weerbaarheid van teeltsystemen.

Tabel 4

Criteria vanuit de circulaire meststoffen voor het gebruik in groeimedia en het al dan niet kwantitatief zijn van de criteria.

Nr.	Criterium	Gekwantificeerd	Opmerking
16	Snelheid van vrijkomen van meststoffen	ja	Onderzoeksvraag
16	Voedingsbehoefte van de plant	ja	Bekend
17	Snelheid van vrijkomen van koolstof	-	Onderzoeksvraag
18	Minimaal luchtgehalte	ja	

16. De 16 voedingselementen die in een tuinbouwteelt gemonitord worden, zitten in verschillende verhoudingen in de grondstoffen voor organische mest en komen daaruit met verschillende snelheden vrij. Om toch nauwkeurig de vraag van de plant te kunnen volgen, is veel kennis nodig. Hier volgt niet zozeer een criterium voor materialen uit als wel een behoefte aan verder onderzoek genoemd in paragraaf 2.4. Het criterium hier, de plantbehoefte aan voeding, is in voldoende mate vastgelegd in de BemestingsAdviesBasis voor de potplantenteelt en voor de teelt van glasgroenten en snijbloemen. Het is alleen niet voldoende duidelijk in hoeverre verschillende organische meststoffen aan deze bekende plantvraag tegemoet kunnen komen.
17. Bij gebruik van organische meststoffen, komt een grote hoeveelheid koolstof vrij. Deze koolstof zal een flinke impuls geven aan het microbiële leven in de groeimedia. Op grond van literatuur mag verwacht worden dat de microbiële activiteit 10-100 keer groter wordt en de diversiteit van de soorten zal toenemen (Grunert e.a., 2016b). Wel is er literatuur waaruit blijkt dat hogere activiteit / diversiteit ook aanleiding kan zijn voor een hogere in plaats van lagere ziektedruk. Ook hier geldt weer dat veel extra kennis nodig is om de transitie van lineaire naar circulaire meststoffen veilig richting te geven. Hier volgt niet zozeer een criterium voor materialen uit als wel een aandachtspunt voor paragraaf 2.4.
18. Criterium: bij gebruik organische mest een luchtgehalte in het groeimedium boven de 20%v/v bij verzadiging. Dit criterium is eigenlijk een teeltcriterium waarbij rekening wordt gehouden met de zuurstofbehoefte van planten en micro-organismen. Omdat bij gebruik van organische meststoffen de activiteit van micro-organismen sterk toeneemt, ligt het criterium voor een minimaal luchtgehalte hoger dan voor groeimedia en kunstmeststoffen. Opgemerkt wordt dat luchtgehalte hier gebruikt wordt als maat voor zuurstofaanvoer. Bij hoge koolzuurgasproductie, zoals na aanvoer van veel onstabiele organische mest, kan toch lokaal zuurstoftekort optreden (Blok e.a., 2017; Verhagen, 2013).

Criteria vanuit de telers

De eisen vanuit de telers zijn geformuleerd in het RHP-certificaat. Dit certificaat is in 1963 ontstaan vanuit de potgrondindustrie maar is vervolgens gestructureerd volgens de internationaal gebruikte aanpak voor normeringsorganisaties als CEN in Europa (Comité Européen de Normalisation) en NEN (Nederlandse Norm). Dit betekent onder andere:

- Dat de raad voor accreditatie erop toeziet dat het RHP-systeem competent is.
- Dat normen worden opgesteld door deskundigen van RHP, industrie en onderzoek.
- Dat voorstellen van de deskundigen worden vastgesteld in overleg met belanghebbenden. Dit betreft telers vertegenwoordigd door Glastuinbouw Nederland/LTO, potgrondindustrie, onderzoek en de uitvoerende certificeerders.
- Dat controles worden uitgevoerd door erkende certificeerders (voor RHP zijn dit KIWA en MPS-ECAS).

Het RHP-keur mag zich verheugen in een breed gedragen en ook internationaal in hoog aanzien staand certificaat. Er is veel vertrouwen van zowel de deelnemende potgrondindustrie als de telers. Het RHP-certificaat bestrijkt de tuinbouwmarkt, de consumentenmarkt en de champignoncultuur (Bijlage 4). Het RHP-certificaat controleert niet alleen het geleverde materiaal maar ook de grondstoffen en de productiewijze van de grondstoffen (Bijlage 4).

Het RHP-keur omvat naast materiaaleisen ook eisen aan productielocaties die ook voor telers van belang zijn. Een voorbeeld is het verbod onkruid te bestrijden met herbiciden. Een ander voorbeeld is het testen op aaltjes of onkruidzaden bij de productie van schors. In Tabel 5 worden huidige teelt gerelateerde criteria als groep genoemd en onder punt 18 verder gespecificeerd.

De telersvertegenwoordiging in het college van deskundigen rapporteert aan de gewasgroepen van Glastuinbouw Nederland en Stichting Kennis In Je Kas (GTBNL/KIJK) en krijgt vandaaruit ook hun opdrachten om bepaalde facetten binnen het keur te brengen. Daarbij blijft het mogelijk dat individuele telers andere of verdergaande eisen hebben die niet in het keur gebracht zijn. Dat kan wensen betreffen die gelden voor kleine marktsegmenten (niches) maar ook voorlopers betreffen van trends die later gemeengoed worden. Onder punt 20 wordt een poging gedaan trends te noemen die mogelijk mainstream zullen worden. In Tabel 5 worden deze genoemd als in ontwikkeling zijnde teelt gerelateerde criteria.

Tabel 5

Criteria vanuit de telers voor het gebruik in groeimmedia en het al dan niet kwantitatief zijn van de criteria.

Nr.	Criterium	Gekwantificeerd	Opmerking
19	Huidige fysische, chemische en biologische teelt gerelateerde criteria	ja	Tabel 6
20	In ontwikkeling zijnde fysische, chemische en biologische teelt gerelateerde criteria	-	In ontwikkeling

Daarnaast zouden de kwaliteiten van groeimmedia ook overeen moeten komen met de eisen van de plant (Gruda, 2020). Dit is voor een groot deel ondervangen door de eisen van de telers. De wetenschap heeft met betere analysemethoden soms zicht op nieuwe plantgebaseerde eisen, die dan nog wel vertaald moeten worden naar basistesten en criteria.

19. Voor de telers zijn zowel de eisen aan de eindproducten als de eisen aan de grondstoffen als de eisen aan de productiewijze van de grondstoffen relevant. In het RHP-systeem worden deze eisen per toepassing en per materiaal specifiek benoemd. Het complete RHP-systeem bevat honderden pagina's met getabelleerde grenswaarden. In Bijlage 4 wordt een voorbeeld gegeven van de inhoudsopgave van de eisen aan één materiaal, compost. In Tabel 6 wordt weergegeven welke directe teelt gerelateerde eisen worden gehanteerd voor de teelt.

Tabel 6

Teelt gerelateerde eisen zoals gekwantificeerd in het RHP-keur.

Groeiremming	Range
EC	0-1.0 dS/m
pH	4.8-6.5
Zuurbindende waarde (basebindende waarde)	0-100 mmol/kg
Niveau van 6-8 hoofdelementen	max
Maximale dosering gebaseerd op meetwaarden	>10 %v/v
Niveaus 5 sporenelementen	max microg/kg
Koolzure kalk	min
Mangaan actief	max
8 zware metalen	max
Organische stof	min
Bulk dichtheid	n.v.t.
Relatieve indrukking en herstelvermogen	max, min
Porie volume	nv
Water en luchtgehalte bij 4 vochtniveaus	min
Wateropname snelheid	min
Zinktijd	<20 sec
Dimensies	Spec*
Omhuilingsfolie 5 kwaliteitseisen	Min
Schimmelkiemgetal	Max
Zeeffracties in 7 klassen	Spec*
4 verontreinigingen (glas, steen ed.)	max
Afbreekbaarheid (respiratietest)	max
Onkruidzaden (kiemtest)	max
Aaltjes	max
Knolvoet	max
Humaan pathogenen	max
Kationen bindende waarde	Spec*
Basebezetting	min

Max; hiervoor gelden maximale waarden afhankelijk van grondstof en gebruik

Min; hiervoor gelden minimale waarden afhankelijk van grondstof en gebruik

Spec = Maximale afwijking van een gespecificeerde waarde

20. Omdat dit rapport ingaat op de mogelijkheden de plantweerbaarheid van groeimmedia te bevorderen, is het van belang te melden dat er bij telers een groeiende belangstelling is voor:

- De rol van groeimmediabestanddelen (constituenten in het jargon) in de ziekteweerbaarheid en abiotische stress (onderwerp van dit rapport).
- Gebruik van organische (circulaire) meststoffen in groeimmedia.
- Telen met ziekte-onderdrukkende of groeibevorderende micro-organismen in groeimmedia.
- Telen met toedieningen om de plant en/of groeimedium weerbaarder te maken.

RHP heeft voorstellen in ontwikkeling voor criteria voor het werken met organische meststoffen en voor criteria voor de effectiviteit van micro-organismen. Deze onderwerpen zijn nog maar ten dele opgenomen in het RHP-keur. Bovendien ontbreken nog onderzoeksmethoden om grenswaarden te onderbouwen. De samenwerking met veel aanbieders van niet-microbiële en microbiële biostimulanten laat te wensen over omdat veel aanbieders er geen belang bij hebben onderzoek van hun middelen te faciliteren. Op dit punt worden nog geen criteria geformuleerd voor de groepen a-d (die punten worden in hoofdstuk 3 verder uitgewerkt).

Het ontbreken van criteria en grenswaarden heeft geleid tot een onduidelijke situatie in het veld met een onoverzichtelijk aanbod van micro-organismen en stoffen die de groei en of weerbaarheid van plant en of groeimedium zouden verhogen (De Long e.a., 2021). De Long e.a., tonen aan/beargumenteren dat de beperkte ruimte in de EU-richtlijnen niet past bij de veelvormigheid van de aangeboden middelen en dat de werking sterk afhankelijk is van de toepassingsomstandigheden. In box 2 wordt gesteld dat de Nederlandse meststoffenwet hier meer ruimte zou kunnen bieden. Om de variatie in toepassingsomstandigheden bij de beoordeling beter grijpbaar te maken, zijn er gestandaardiseerde basis teelttesten nodig (deze vraag naar onderzoek wordt herhaald in paragraaf 2.4).

2.2.1 Samenvatting van de genoemde criteria

De nummers corresponderen met de beschrijvingen in paragraaf 2.2 en Tabellen 2-5. Niet elk punt daar leidt 1:1 tot een criterium.

- Ad1) De uitstoot van koolzuurgas bij winning, gebruik en end of life, $<1 \text{ m}^3$ aardgas per m^2 teelt.
- Ad2a) Geringe inzet van energie en water bij productie, het waarborgen van minimale arbeidsnormen, continuïteit van habitat en biodiversiteit van de winningsomgeving.
- Ad2b) Productie/winning van materiaal moet onder minimale of betere arbeidsnormen plaats vinden.
- Ad2b) Productie/winning van het materiaal moet zonder vervuiling van de omgeving, zonder blijvende schade aan de omgeving en zonder uitputting van hulpbronnen plaats vinden.
- Ad3) End of Life (EOL) van de producten moet duurzaam zijn.
 - i. Grenswaarden voor impurities (glas, metaal, plastic, steen) en zware metalen.
 - ii. Zo mogelijk koolstofstromen laten eindigen in akkerbouwbodems.
- Ad4) Een materiaal moet legaal verkrijgbaar zijn.
- Ad6) Organische kunststoffen moeten biologisch afbreekbaar zijn volgens de Europese norm voor vertering van plastic verpakking (CEN-13432, 2017).
- Ad7) Een materiaal moet stabiel zijn en wel, in termen van de OUR-bepaling, <12 voor bijmengen tot maximaal 20%v/v en <6 voor bijmengen bij $>20\%v/v$ (meetwaarde in $\text{mmol O}_2/\text{kg Droge Organische Stof} / \text{uur}$).
- Ad8) Hoeveelheden materiaal worden uitgedrukt als m^3 output van groeimediateeltkwaliteit.
- Ad9) Een materiaal moet economisch rendabel zijn. Voor potplanten moet de prijs na bewerken $<50 \text{ Euro}/\text{m}^3$ kunnen zijn, voor vruchtgroentesubstraten $<200 \text{ Euro}/\text{m}^3$.
- Ad10) Sommige materialen zijn gemaximaliseerd bij toepassing in mengsels van groeimedia.
- Ad11) Materialen zijn getest bij Nederlandse opbrengstniveaus, watergift en bemestingsniveaus.
- Ad12) Het materiaal moet beschikbaar zijn in hoeveelheden van minimaal $> 100.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$.
- Ad13) Het materiaal moet vrij zijn van stoffen die schadelijk zijn voor gewassen, arbeiders en consumenten. Voorstel is de bestaande RHP-normen te hanteren.
- Ad14) Het materiaal moet over de seizoenen en jaren gelijkmatig van kwaliteit zijn.
- Ad15) Het materiaal moet binnen de tijdshorizon van deze inventarisatie, 2030, op de markt kunnen komen.
- Ad16) Het vrijkomen van organische meststoffen is af te stemmen op de (bekende) plantbehoeften.
- Ad18) Het luchtgehalte in microbiële actieve systemen is 20%v/v of meer bij uitlek.
- Ad19) De kwaliteiten moeten overeenkomen met de eisen voor de plant (en de teler). Voorstel is de bestaande RHP-normen te hanteren. Uit de ca 200 grenswaarden die in de praktijk gebruikt worden noemen we hier: $\text{EC} < 1.0 \text{ dS/m}$; pH range 4.8-6.5; stabiliteit: $<12 \text{ OUR eenheden}$; plantresponse $< 20\%$; beschikbaar vocht $>20\%v/v$; beschikbare lucht $>10\%v/v$ (of liever 20%v/v in microbiële actieve systemen als voorgesteld in criterium 17).

2.3 Shortlist

De criteria beschreven in 2.2 leiden tot een shortlist van materialen waarvan de maatregelen t.b.v. weerbaarheid kunnen worden vastgesteld en die binnen de Nederlandse context voor telers relevant kunnen zijn of worden (Bijlage 2, en samengevat in Tabel 7).

De materialen betreffen niet alleen de bedekte teelten in Nederland, maar ook de teelt van sierplanten en bomen in containers in de buitenteelt van de boomkwekerij, en het afharden van perkgoed en opkweek in pluggen van vollegrond tuinbouwgewassen als kool. In het geval van steenwol betreft het gebruik vrijwel alleen de teelt van vruchtgroenten en snijbloemen. Voor kokos en perliet gaat het zowel om vruchtgroenten en snijbloemen als om potplanten en consumententoepassingen (consumententoepassingen wil zeggen potgrond via tuincentra). Voor de meeste andere toepassingen gaat het om toepassing in mengsels voor de teelt van potplanten en de opkweek.

De belangrijkste groeimedia die niet op de shortlist komen, zijn turf / veen producten. De reden is de koolzuurgasuitstoot door vertering van het veen na winning en tijdens en na gebruik. Veen wordt in Nederland tussen nu en 2050 uit gefaseerd voor gebruik in groeimedia (LNV, 2021). Voor de professionele markt zal organisch substraat in 2025 voor 35% uit hernieuwbare grondstoffen bestaan. Daarnaast ontbreken in de shortlist op olie gebaseerde kunststoffen, eveneens in verband met de koolzuurgasuitstoot. Juist wel opgenomen, ondanks nog geringe marktaandelen zijn de biobased en biodegradeerbare kunststoffen. Ook opgenomen zijn materialen die nu nog niet veel gebruikt worden (vermicompost, biochar, grasvezel) vanwege de lage beschikbaarheid en grote kwaliteitsproblemen. Er wordt namelijk verondersteld dat door de verwachte hogere prijzen voor groeimedia, complexere voorbehandelingen de materialen geschikter kunnen maken. Een twijfelgeval zijn de oliepalmvezels die in verband worden gebracht met destructie van oerwoud.

In Bijlage 2 staat de oorspronkelijke shortlist. Deze is in Tabel 7 gecompriëerd door:

- Samentrekken van vier teeltsystemen op water tot Watersystemen. Bovendien is van deze systemen geen berekening van de hoeveelheid opgenomen omdat er anders een dubbeltelling is met de gebruikte vaste groeimedia. Er is namelijk nog steeds een (en soms aanzienlijk) verbruik van groeimedia in de opkweekpluggen voor NFT (Nutriënt Film Technique) en DFT (Deep Flow Technique). Bovendien staan in eb en vloed systemen voor potplanten, de planten natuurlijk gewoon in potgrond.
- Samentrekken van 3 kokosmaterialen tot Kokosproducten.
- Samentrekken van 3 houtmaterialen tot Houtproducten.
- Samentrekken van Tuff en Pumice apart tot één groep: Tuf en puimsteen.
- Weglaten van zand als onvermengd groeimedum omdat dit een medium is dat onoplosbare problemen geeft in teeltgezondheid en daarom beter verlaten kan worden.
- Weglaten van vermiculiet en kurk die voornamelijk als afdek materiaal gebruikt worden en te duur lijken voor de reguliere teelt.
- Weglaten van zeoliet en klei die alleen in kleine hoeveelheden door potgrondmengsels gebruikt worden (max 5%v/v). Deze materialen komen later terug in de bespreking van toeslagstoffen die van invloed kunnen zijn op het microbieel leven in groeimedia.
- Compost en gecomposteerd snoeiafval. Hierbij moet bedacht worden dat composteren eigenlijk de verwerkingstechniek is, zodat de term niet voor nieuwe maar voor verwerkte organische restproducten staat. In de verwerking gaat veel massa verloren. Houtrijke composten zijn mede daarom geschikt voor gebruik in teeltsubstraten. Ze kunnen meestal in hogere volumepercentages gebruikt worden door gunstiger zoutgehalte en zuurgraad. En houtvezelrijke compost is minder onderhevig aan afbraak tijdens composteren, waardoor het massaverlies lager is.
- Stro is opgenomen ondanks de hoge prijs omdat de hoeveelheid en vezelgehalte van belang zijn.

- Samentrekken van anaerobe en aerobe digestaten van vezelgewassen en mest tot één groep digestaten. Dit omdat ook nu al vaak verschillende grondstoffen samen in een vergister worden gebracht en omdat aeroob naverwerken voor toepassing in de potgronden noodzakelijk is voor de productveiligheid en stabiliteit. Digestaten zijn opgenomen ondanks de huidige nog onopgeloste problemen met hoeveelheid, kwaliteit en veiligheid, in de verwachting dat een klein deel van de materialen uiteindelijk toepasbaar zal blijken. De verwachting is dat het meest stabiele en vezelige deel toepasbaar zal zijn, maar dat voor een groot deel van de onstabiele en voedingsrijke massa een andere bestemming gevonden zal moeten worden. Hierbij moet bedacht worden dat aerobe en anaerobe vergisting eigenlijk technieken zijn zodat de termen niet voor nieuwe organische restproducten staan. In de verwerking gaat veel massa verloren in de vorm van waterdamp en koolzuurgas.
- Samentrekken van de stabilisatietechnieken gasificatie (biochar), hydro thermal carbonisation en torrefactie. Hierbij moet weer bedacht worden dat dit eigenlijk technieken zijn zodat de termen niet voor nieuwe organische restproducten staan. Ook in deze processen gaat veel massa verloren. Het doel van gasificatie en in mindere mate hydro thermal carbonisation en torrefactie is de productie van energie. Omdat glastuinbouw in Nederland een energieverbruiker is, is onderzocht of er economisch ruimte is voor een gecombineerde activiteit (Bakker e.a., 2016). Omdat de energie en houtrestprijzen veel invloed hebben op de uitkomsten, kan het nuttig zijn de studie nog eens te herzien met de huidige marktprijzen.
- Vermicompost is opgenomen zonder dat er in Nederland sprake is van voldoende hoeveelheden van een stabiel en veilig product. De reden is dat er genoeg materiaal in Nederland is voor grootschalig vermicomposteren en dat de producten in het buitenland teelttechnisch en mogelijk ook microbieel interessant zijn gebleken. Ook hierbij moet bedacht worden dat vermicomposteren een techniek is, die niet voor nieuwe maar voor veranderde organische restproducten staat. Ook bij vermicomposteren gaat veel massa verloren.
- Samentrekken van allerlei grasvezels, olifantsgras, vlas en hennep tot één groep vezelgewassen. Voor alle vezelgewassen geldt dat voorbewerkingen de onstabiele en voedingsrijke delen moeten verwijderen. Hierbij kan veel van de oorspronkelijke massa verloren gaan. Ook hier geldt dat de producten zijn opgenomen ondanks de problemen met het leveren van betrouwbare en stabiele hoeveelheden en kwaliteit.
- Oliepalmvezelproducten zijn sterk omstreden wat betreft de ecologische voetafdruk van de oliepalmpductie en de vernietiging van bosgebieden, maar zijn voorlopig opgenomen omdat de grens met kokospalmplantages en landbouwgewassen niet goed te trekken is. Het materiaal is in grote hoeveelheden beschikbaar maar nog niet stabiel genoeg.

Tabel 7

Shortlist van productgroepen groeimedia van belang voor de teelt in Nederland van nu tot 2030, met mogelijke afkeurcriteria en geschat volume gebruikt in de professionele teelt.

Groeiumedium	Afkeur criteria	Geschat Mm ³ /j in NL	Uitsluitend in mengsels
Steenwol	2	0.50	
Kokosproducten		0.30	
Schors		0.28	
Houtproducten		0.08	
Kleikorrel		0.02	
Waterteelten			
Sfagnum (peat moss, levende toplaag van veen)		0.04	
Perliet	2	0.03	
Park en snoeiafval (na composteren)		0.03	ja
Composten (zonder consumentendeel)	7,18	0.02	ja
Schuimen	1,2,6	0.02	
Biofoam o.a. PLA	6	0.00	
Gebruikte dekaarde	18	0.02	ja
Tuff en puimsteen	2	0.01	
Digestaten	7,13,18	0.01	ja
Rijstekaf		0.00	ja
Stro	7,9	0.00	ja
Biochar / hydrochar / torrefactie	13,18	0.00	ja
Vermicompost	12a	0.00	ja
Vezelproducten (grassen / vlas /hennep)	7,12a	0.00	ja
Oliepalmvezelproducten	2b,7,12a	0.00	ja
Totaal		1.43	

2.4 Aandachtspunten

Uit de bespreking in paragraaf 2.2 volgen een aantal aandachtspunten die deels ook van belang zijn voor beleidsmakers. Deze worden hieronder verkort genoemd. De nummers corresponderen met de beschrijvingen in paragraaf 2.2. Niet elk punt daar leidt 1:1 tot een aandachtspunt.

- Ad1) De voorgestelde norm voor de uitstoot van koolzuurgas bij winning, gebruik en end of life, <1 m³ aardgas per m² teelt is niet algemeen aanvaard.
- Ad2a) Er zijn nog geen eenduidig gekwantificeerde criteria voor energie en water bij productie.
- Ad2b) Er zijn nog geen eenduidig gekwantificeerde criteria voor minimale arbeidsnormen.
- Ad2c) Voor materialen als voor steenwol, perliet, klei en zand is onduidelijk welke veranderingen in het landschap door winning nog acceptabel zijn en hoe continuïteit van habitat en biodiversiteit van de winningsomgeving gekwantificeerd kunnen worden.
- Ad2c) De voorgestelde criteria voor impurities (glas, metaal, plastic en steen) zijn nog niet algemeen aanvaard.
- Ad2c) Het gebruik van stabiele koolstofvormen om een negatieve koolzuurgas uitstoot te realiseren (regeneratieve toepassing) wordt niet gewaardeerd in een gunstige stimulerende regelgeving.
- Ad4) De gekozen norm voor de vertering van kunststoffen is niet algemeen aanvaard.

- Ad5) Tot nu toe is het voor de tuinbouw verrichte onderzoek aan groeimedia niet sterk geïntegreerd geweest over de keten; inzamelbedrijven, potgrondbedrijven, telers en retail.
- Ad6a) Het vervoeren en toepassen van afvalmaterialen is aan strenge regels gebonden. Er is echter niet één overkoepelend loket dat vrijstellingen kan afgeven en begeleiding verzorgt voor bedrijven die bereid zijn hier risico's aan te gaan voor het ontwikkelen van nieuwe toepassingen. Genoemde voorbeelden zijn de N en P normen, vervoer vanuit of naar het buitenland, en toepassen van dierlijke of menselijke excrementen bij voedselgewassen. In de praktijk wijzen instanties elk initiatief dat niet klip en klaar in regeling genoemd wordt af.
- Ad6b) Bij de verwerking van organische reststromen bestaan perverse prikkels die het winstgevend maken materiaal van lage kwaliteit snel te leveren. Met name de scheve prijsverhouding inname/uitgifte, maar ook de beperkte geoorloofde opslagcapaciteit en de grote massaverliezen tijdens verwerking belemmeren de ontwikkeling van hoogwaardigere producten.
- Ad6c) Om vergissingen in haalbaarheid van beleid te voorkomen, is het wenselijk de opgave van relevante hoeveelheden organische reststromen uit te drukken als m³ output van groeimediateeltkwaliteit in plaats van input hoeveelheden en/of hoeveelheden in gewicht.
- Ad8) Het is wenselijk dat er meer overeenstemming bereikt wordt over de analysemethoden waarmee onderzoek en praktijk communiceren over kwaliteit van groeimedia en ontwikkelkansen. De discussie kan alleen gevoerd worden op grond van eenduidig gemeten waardes en volledige rapportages. Er moet op hoofdlijnen overeenstemming zijn over de eisen die aan de kwaliteit mogen worden gesteld. Het is onwenselijk alleen op beperkte niet praktijk conforme proeven van onderzoekers af te gaan. Acceptabel zijn praktijkconforme proeven met toezicht van telers en toeleverende bedrijven. Omgekeerd zijn proeven door toeleverende bedrijven acceptabel als er toezicht is van betrokken onderzoekers van gecertificeerde instituten. Er moet overeenstemming zijn over de meetmethoden waarmee gecontroleerd wordt of aan de eisen wordt voldaan. Het lijkt haalbaar op basis van bestaande CEN, NEN, BVOR en RHP-normen een canon van gewenste methoden te geven. In zo'n canon mag eventueel met conversies gewerkt worden van niet voorgeschreven naar voorgeschreven methoden, mits de conversies gevalideerd zijn door een onafhankelijk instituut.
- Ad12) Bij het toepassen van organische mest ontbreekt een bemestingsadviesstelsel dat zich kan meten met het nu gebruikte bemestingsadvies basis glastuinbouw (BAB). De BAB is uniek in de wereld omdat het de recirculatie van de voedingsoplossing mogelijk maakt. Recirculatie van de voedingsoplossing is een hoeksteen van de circulaire tuinbouw in Nederland en een verplichting vanaf 2027. De omschakeling van kunstmeststoffen naar circulaire meststoffen kan dus alleen vlot verlopen als er een deugdelijke BemestingsAdviesBasis voor recirculerende circulaire meststoffen komt.
- Ad13) Er is nu weinig zicht op de hoeveelheid koolstof die per eenheid tijd en oppervlakte vrij komt uit organische meststoffen. Het ligt voor de hand een kwantitatieve schatting van de vrijkomende koolstof te gebruiken om de biologische activiteit te monitoren en te sturen. Het ligt ook voor de hand een schatting van de snelheid van vrijkomen in te bouwen in een recirculerende BemestingsAdviesBasis organische meststoffen.
- Ad16) Er bestaan nu geen geaccepteerde basistesten om de effectiviteit van organisme en microbiële toedieningen aan groeimedia te toetsen.

Het valt te verwachten dat er een toename zal komen van het gebruik van organische reststoffen voor organische groeimedia, organische meststoffen, koolzuurgastoeepassing en energietoepassingen. Dit gaat om belangstelling voor zowel heel specifieke reststromen (waarin zit het meeste stikstof) als om generieke reststromen (welke koolstof is het goedkoopst). Het kan nuttig zijn een sectorplan voor het gebruik van reststromen op te stellen en dit met regelgeving te begeleiden, om knelpunten in het gebruik weg te nemen (LNV, 2019). Zo'n sectorplan zal dynamisch en interactief moeten zijn om de schommelingen in prijs te begeleiden die te verwachten zijn bij ongelijk snelle ontwikkeling van de verschillende toepassingen.

2.5 Bespreking groeimediabestanddelen

Voor deze inventarisatiestudie is het van belang de groeimediabestanddelen, nog voor eventuele menging tot een groeimedium voor een bepaalde toepassing, te bespreken met het oog op de door hen meegebrachte weerbaarheidsbepalende microbiologie. In een mengsel voor een toepassing zal na menging een microbioom ontstaan dat weliswaar niet de optelsom is van de samenstellende delen, maar daar toch wetmatig uit voortkomt. De kennis om te voorspellen welk microbioom een mengsel zal opleveren op basis van de microbiële kennis van de samenstellende delen schiet momenteel nog tekort, maar zal niettemin de basis zijn voor de succesvol weerbare mengsels van de toekomst. Sterk beperkend voor de kennisontwikkeling is het ontbreken van goed gedefinieerde veldtesten (zie ook paragraaf 5.2).

Verdere verklaring

De term groeimedium wordt helaas vaak gebruikt voor zowel groeimediabestanddelen als voor mengsels van groeimediabestanddelen. De groeimediabestanddelen worden constituenten genoemd in het vakjargon (en de bijgevoegde literatuurlijst). De term "groeimedia bestanddeel" omvat ook materialen die niet zelfstandig als groeimedium te gebruiken zijn zoals bijvoorbeeld compost. Compost heeft eigenschappen zoals het voedingszoutgehalte, waardoor het niet geschikt is om onverdund op te telen (van Dam en de Vlaam, 2022). Daarom wordt compost gemengd met een overmaat aan andere materialen aangeboden als groeimedium. Ook bijvoorbeeld houtvezel is tot nu toe niet in percentages hoger dan 50 volumeprocenten gebruikt in mengsels (Eveleens e.a., 2021). Het aantal in Nederland gebruikte mengsels loopt in de duizenden maar is in wezen onbeperkt. Twee belangrijke verschillende toepassingen zijn:

1. **Vruchtgroentegewassen.** Bij de teelt van vruchtgroentegewassen worden matten gebruikt, gevuld met één groeimediumbestanddeel zoals steenwol, houtvezel, perliet, veen en kokos. Een kanttekening is dat voor veen en kokos toch een vorm van mengsel nodig is. Bij veen wordt fijner gemalen witveen gemengd met grovere veenfracties (brokvormige veen) om een bruikbaar product te verkrijgen. Bij kokosmatten wordt het fijnere kokosgruis gemengd met kokoschips.
2. **Potplanten.** Voor de teelt van potplanten worden groeimedia samengesteld uit mengsels van 3-6 individuele groeimediacomponenten, kalk en meststoffen. Het is mogelijk materialen met ongewenste eigenschappen te mengen met materialen die deze eigenschappen compenseren. Zo is het mogelijk een te zuur en een te basisch materiaal te mengen tot een ideale zuurgraad of een te nat en een te droog materiaal tot een ideale vochtvasthoudendheid. Het vereist veel kennis om 3-6 componenten met elk zo'n 20 teelt eigenschappen te mengen tot een geschikt teeltmengsel.

Bij het mengen van groeimediabestanddelen, zoeken de microbiomen van de bestanddelen een nieuw evenwicht. In hoofdstuk 3 wordt uitgelegd dat dit evenwicht sterk afhangt van de totale hoeveelheid koolstof die per tijdseenheid vrij kan komen uit zowel de groeimediabestanddelen als uit andere bronnen (plant, organische mest en niet-microbiële biostimulanten). In minder stabiele groeimedia wordt het koolstofskelet van de samenstellende delen sneller afgebroken, waarbij veel koolstof vrijkomt. Snel afbrekende groeimedia zullen in mengsels de totale activiteit dus meer dan proportioneel verhogen. Bij een afbraaksnelheid boven de 12 (OUR-eenheden) begint het structuurverlies de teelt negatief te beïnvloeden, en neemt de kans op ongewenste snelle veranderingen in microbioom voor composten toe.

NB: OUR-eenheden staat voor het zuurstofverbruik in een microbiële afbraaktest (Oxygen Uptake Rate) voor de afbraaksnelheid van organische groeimediabestanddelen. De eenheid is mmol zuurstofverbruik per gram droge organische massa per uur (Veeken e.a., 2007).

Naast koolstof kan een groeimedium nog andere elementen bevatten waardoor een specifieke activiteit verhoogd wordt. Als die specifieke activiteit nuttig is voor de teelt kan zo'n groeimedium een functie vervullen tussen groeimediumbestanddeel en biostimulant in. Het is mogelijk dat naast het vrijkomen van voeding, ook een ziekte-onderdrukkende functie wordt gestimuleerd. Een voorbeeld is het toevoegen van champost als bron van chitine, waardoor *en* stikstof vrijkomt *en* *Fusarium* onderdrukt wordt (Kruidhof e.a., 2021).

Zelfs als een groeimediacomponent een gewenste specifieke activiteit stimuleert is het nog niet per definitie de meest praktische teeltoplossing. Het blijft mogelijk dat een groeimedium zonder die specifieke activiteit door geregeld toevoegen van een organische meststof of niet-microbiële biostimulant nog beter past bij de vereisten van de teelt. Een groeimedium is dus maar één van de manieren om een gewenst microbioom te vormen, daarnaast spelen de plant, de organische meststoffen en niet-microbiële toevoegingen een grote rol.

2.5.1 Groeimediabestanddelen

Veen

Bij veen voor groeimediatoepassingen wordt altijd hoogveen bedoeld. Hoogveen is dood veenmosveen dat honderden tot duizenden jaren door zure en voedingsarme regen is uitgeloofd. Omdat veen, net als alle organische oppervlakken, negatieve ladingsplaatsen heeft, is veen door ophoping van zuur aan de ladingsplaatsen erg zuur. Veen is door het uitspoelen dus voedingsarm, koolstofrijk en erg zuur. Veen bestaat grotendeels uit het microbiologisch langzaam afbreekbare lignine. Het microbioom is daarom klein, soortenarm en gedomineerd door schimmels gespecialiseerd in lignine-afbraak. Veen is bovendien vrij van plantenziekten. Het microbioom is bij mengen en bij wisselende teeltomstandigheden gevoelig voor concurrentie door andere soorten, met name bacteriën.

Steenwol

Steenwol is gevormd bij temperaturen rond de 1400 graden en dus bij de start vrij van micro-organismen. Het duurt 2-6 weken voor een microbioom gevormd is, voornamelijk op koolstof in de uitscheiding van plantenwortels. Uit steenwol zelf komt vrijwel geen koolstof vrij. Het microbioom is klein, soortenarm en gedomineerd door overwegend bacteriën. Het microbioom is bij wisselende teeltomstandigheden gevoelig voor concurrentie door andere soorten, met name schimmels mits er een bron van moeilijk beschikbare koolstof aanwezig is.

Kokosproducten

Bij kokos voor groeimediatoepassingen is sprake van kokosgruis, kokosvezel en kokoschips. Kokosgruis ligt als korrelige massa tussen de vezels. Kokoschips bestaan uit vezels, tussenliggend gruis en de schil. Kokos bestaat grotendeels uit het microbiologisch langzaam afbreekbare lignine, maar bevat ook een gedeelte cellulose. Het kokosoppervlak is negatief geladen en deze lading bindt een flinke hoeveelheid positieve voedingsionen. Het microbioom is wat groter en soortenrijker dan voor veen maar is nog steeds gedomineerd door schimmels gespecialiseerd in lignine en cellulose-afbraak (Koohakan e.a., 2004). Kokosproducten zijn niet vrij van plantenziekten en onkruidzaden. Het microbioom is tamelijk stabiel.

Schors

Schors is bij lagere temperaturen geproduceerd, en bevat daardoor micro-organismen, inclusief een aantal ziekten en plagen. Schors moet onder andere daarom gecomposteerd worden, waarbij gedurende een minimumperiode een minimumtemperatuur gehaald moet worden. Composteren is geen steriel proces dus na composteren heeft schors een vrij rijk microbioom. Schors bestaat uit lignine en kurkverbindingen met een kleiner deel cellulose. Het microbioom is vrij groot en soortenrijk met nadruk op schimmels. Tot nu toe is schors van een beperkt aantal dennen gebruikt. Er is dus nog ruimte voor verbreding. Het gedrag van het microbioom bij mengen is nog vrij onbekend. Bij de afbraak van schors ontstaat door opname in de bacteriële massa vaak een tekort aan stikstof voor plantengroei (stikstof immobilisatie).

Houtproducten

Houtvezel is bij temperaturen net boven de honderd graden geproduceerd, en daardoor vrij van micro-organismen. Na productie en vóór toepassing ontwikkelt zich een microbioom van schimmels gericht op de afbraak van cellulose en lignine en van bacteriën die concurreren om de afbraakproducten van met name cellulose. Houtvezel breekt gedurende de gehele teelt verder af. Het microbioom is hierdoor redelijk groot en vrij rijk aan soorten. Houtvezel kan bij mengen met andere materialen plotseling sneller gaan afbreken, mogelijk door veranderingen in abiotische omstandigheden als watergehalte, zuurstofaanvoer of zuurgraad. Bij de afbraak van houtvezel ontstaat door opname in de bacteriële massa vaak een tekort aan stikstof voor plantengroei (stikstof immobilisatie). Opmerkelijk is dat het cellulosegehalte van houtvezel bijna altijd onbekend is.

Kleikorrels

Kleikorrels worden gevormd bij temperaturen tussen de 1000-1200 graden en zijn dus bij de start vrij van micro-organismen. Het duurt 2-6 weken voor een microbioom gevormd is, voornamelijk op koolstof in de uitscheiding van plantenwortels. Uit kleikorrels komt geen koolstof vrij. Het microbioom is klein, soortenarm en gedomineerd door bacteriën. Het microbioom is bij wisselende teeltomstandigheden gevoelig voor concurrentie door andere soorten, met name schimmels mits er een bron van moeilijk beschikbare koolstof aanwezig is.

Waterteelten

Water voor waterteelten is meestal regenwater of osmosewater, dat wil zeggen vrijwel vrij van microbieel leven ($<10^2$ CFU/mL). Bij aanvang van een teelt neemt het niveau van leven snel toe naar 10^4 - 10^6 CFU/mL, gevoed door de exudaten van de plantenwortels. Het microbiom is klein, soortenarm en gedomineerd door bacteriën. Het microbiom is bij wisselende teeltomstandigheden erg gevoelig voor concurrentie door andere soorten, zowel bacteriën als schimmels. Complicerend is dat bij schommelingen in abiotische factoren de wortels hevig kunnen reageren door afsterven van een deel van de wortelschors of zelfs door afsterven van hele stukken wortel. Als dat gebeurt, kan de aanvoer van organische stof zo groot worden dat een microbiële explosie van activiteit volgt waarbij gedeelten van de wortelomgeving anaerobe worden. Dit kan leiden tot afsterven van planten en resulteert in grote opbrengstverliezen.

Sfagnum

Als veen met een hoger aandeel cellulose en voeding dus waarschijnlijk iets rijker en diverser in microbiom.

Perliet

Als kleikorrels.

Compost

Compost is een containerbegrip waaronder een groot aantal grondstoffen schuilgaat. Omdat de grondstoffen erg sterk variëren in gehalten aan alle 20 elementen van belang voor microbiële omzettingen, is de invloed van de grondstoffen op de afbraaksnelheid en de soortensamenstelling dus ook groot. Dat gezegd hebbend, geldt dat composteren geen steriel proces is, dus na composteren is er gelijk een groot en soortenrijk microbiom, zowel qua schimmels als bacteriën. Van compost is bekend dat het zowel een ziekte-onderdrukkende als een ziektebevorderende werking kan hebben (Vestberg e.a., 2011). Een hogere ziektedruk hangt samen met een hogere afbraaksnelheid en een hoger gehalte aan stikstof. Daarom zijn er strenge eisen voor afbraaksnelheid en C/N verhouding. Het is nog niet mogelijk de ziekte-onderdrukkende werking van composten te voorspellen.

Schuimen

Dit zijn kunststofschuimen gebaseerd op aardolie. De microbiologie in het medium lijkt op die in kleikorrels. Hoewel het samenstellende plastic veel koolstof bevat komt hiervan maar erg weinig vrij tijdens de teelt. Een uitzondering betreft UF (ureum formaldehyde) waarvan het stikstofrijke ureum kan worden afgebroken, wat leidt tot een wat hogere bacteriële activiteit in dit materiaal.

Bioschuim

Als schuim, maar in plaats van gebaseerd op aardolie, gebaseerd op circulaire biologische producten. Voor de bioschuimen die niet biodegradeerbaar of alleen industrieel biodegradeerbaar zijn (dat wil zeggen pas bij temperaturen boven de 60 graden Celsius), geldt dat de microbiologie zich gedraagt als die in schuim of kleikorrels. Voor biologische schuimen die wel biodegradeerbaar zijn bij kamertemperatuur, geldt dat ze juist wel bijdragen aan de totale biologische activiteit van bacteriën en schimmels. Dit zou voor bepaalde bio schuimen een voordeel kunnen zijn maar is nog niet systematisch onderzocht.

Chitine en Keratine

Dit zijn stikstofrijke respectievelijk stikstof en zwavelrijke verbindingen die gevonden worden in wanden van schimmels, schilden van insecten en geleedpotigen, en voor keratine in haren en hoorn. Van deze producten is bekend dat ze bij afbraak in de bodem sommige schimmelziekten onderdrukken zoals *Fusarium* en *Rhizoctonia* (Postma en Schilder, 2015). Omdat de afbraak van deze stoffen microbieel is, is de afbraak afhankelijk van de hoeveelheid toegediend, de deeltjesgrootte, de abiotische factoren en het verloop van de afbraaksnelheid in de tijd. In onderzoek is de ziekte-onderdrukkende werking duidelijk aangetoond maar zijn praktische aspecten als duur van de onderdrukking en invloed van toedieningsmethode, deeltjesgrootte en dergelijke nog onvoldoende uitgewerkt. Chitine en keratine worden vanwege het vrij hoge gehalte aan stikstof gezien als meststof of als niet-microbiële biostimulant en niet als groeimedium. In Box 2 wordt besproken hoe stoffen als chitine en keratine ook gezien kunnen worden als gewasbeschermingsmiddel en welke bezwaren hieraan kleven.

Dekaarde en Champost

Champost is een mengsel van champost, dekaarde en vrij veel schimmeldradenmassa (mycelium) na afloop van een paddenstoelenteelt. Het microbioom is groot maar niet rijk aan soorten. Omdat het materiaal nog cellulose en lignine bevat, ontstaat na het beëindigen van de paddenstoelenteelt een explosie aan nieuwe soorten. Zo'n snelle verandering biedt invasieve soorten waaronder ziekten meer kans dan de tragere soorten die gedijen bij een stabiel evenwicht (Järvenpää e.a., 2021). De narijping van champost is dus van belang. Het materiaal heeft een bewezen ziekte-onderdrukkende werking (tegen o.a. *Fusarium*) maar heeft ook een veel te zout karakter en een hoge afbraaksnelheid (Kruidhof e.a., 2021). Hierdoor is het gebruik in groeimediamengsels beperkt tot zo'n 10%v/v afhankelijk van het geteelde gewas. Champost hangt tussen groeimediabestanddeel (meestal meer dan 10%v/v) en niet-microbiële biostimulant (meestal minder dan 5%v/v) in. Onderzoek naar spoelmethode heeft veel acceptabeler gespoelde champost opgeleverd maar de verwerking van het zoute effluent (het brijn) is nog te kostbaar voor toepassing. Ander onderzoek maakt het mogelijk de beteelde dekaarde van de beteelde compost te scheiden, De kansen voor hergebruik van de veenrijke dekaarde als laagwaardigere groeimedium (cascadering van gebruik) zijn goed.

Digestaten

Digestaten zijn door anaerobe micro-organismen deels verteerde organische materialen (ook wel: vergisting). In dit verband gaat het om digestaat van runderen en soms varkens. Digestaten zijn afhankelijk van hun oorsprong, redelijk tot bijzonder rijk aan microbiële activiteit (10^5 - 10^9 cfu/g), waarbij bacteriën overheersen. Als vuistregel geldt dat hoe meer lignine houdende vezels in het digestaat zitten, hoe groter het aandeel schimmels wordt. Digestaten zijn erg rijk aan voedingselementen en kunnen de teelt van gewassen schaden door een te hoog zoutgehalte.

NB: CFU staat voor Colony Forming Units, een maat voor het aantal microbiële delen dat zich kan vermenigvuldigen. CFU wordt gebruikt als een benadering van het aantal micro-organismen.

Rijstekaf

Rijstekaf bestaat uit lignine versterkt met silicium, en breekt dus maar zeer langzaam af. Dit kan alleen gedaan worden door schimmels. In afbraaktesten blijkt echter dat er ook een snel afbreekbaar deel aanwezig is (niet gepubliceerd onderzoek C. Blok). Het lijkt erop dat ook een klein deel van het celluloserijke zaad met het kaf meekomt. Dit aandeel is sterk variabel tussen verschillende partijen kaf. Rijstekaf is arm aan plantenvoeding. Het microbioom is daarom klein, soortenarm en gedomineerd door schimmels. Het microbioom is tamelijk gevoelig voor verstoringen. Er is onvoldoende zicht op de markt van rijstekaf.

Stro

Stro bestaat uit lignine en cellulose en breekt dus vrij snel af. Dit kan alleen gedaan worden door schimmels maar de celluloseafbraak trekt ook veel bacteriën aan die concurreren met de schimmels. Stro breekt gedurende de gehele teelt verder af. Het microbioom is hierdoor redelijk groot en vrij rijk aan soorten. Bij de afbraak van stro ontstaat door opname in de bacteriële massa vaak een groot tekort aan stikstof voor plantengroei (stikstof immobilisatie). Na stabilisatie kan stro een verrassend bruikbaar groeimedium zijn (Blok e.a., 2016).

Biochar

Biochar is organisch materiaal dat bij hoge temperaturen en beperkte aanwezigheid van zuurstof is gaan vergassen. De gevormde gassen zoals methaangas en waterstofgas dienen als biogene energiebron. Mogelijk tegelijk gevormde bio-olie wordt gebruikt als grondstof voor plastics. Het restproduct is een bros materiaal met veel koolstof die voor micro-organismen maar matig beschikbaar zijn. Biochar is gevormd bij temperaturen tussen 600-1000 graden Celsius en dus bij de start vrij van micro-organismen. Het duurt 2-6 weken voor een microbioom gevormd is, deels op koolstof uit de biochar, deels op de uitscheiding van plantenwortels. Het microbioom is redelijk in omvang, bevat een redelijk aantal soorten met zowel schimmels als bacteriën. Er is niet bekend hoe stabiel het microbioom is.

Vermicompost

Vermicompost is een containerbegrip voor omzettingen van een groot aantal grondstoffen door wormen. Omdat de grondstoffen erg sterk variëren in gehalten aan alle 20 elementen van belang voor microbiële omzettingen, is de invloed van de grondstoffen op de afbraaksnelheid en de soortensamenstelling dus ook groot. Na vermicomposteren is er een groot en soortenrijk microbioom, zowel qua schimmels als bacteriën. Vermicompost kan ziekte-onderdrukkend zijn en is ongevoelig voor abiotische verstoringen. Bijna alle vermicomposten hebben een lage C/N verhouding en hebben geen last van stikstof immobilisatie-effecten.

Vezelproducten (grassen/riet/vlas/hennep)

Zonder bewerking: als stro. Deze materialen bevatten vaak tegelijk stabielere en (te) snel afbreekbare delen. Om ze geschikt te maken voor gebruik als groeimediabestanddeel zijn bewerkingen nodig. Dit gaat onder andere om breken, wassen, zeven en verduurzamen met stoom en gedeeltelijke verbranding. Bij het gebroken hout van vlasstro (de lemen) is er een risico van het overleven van *Verticillium microsclerotii*. Door het toestaan van hitte bij het vervezelen kunnen de microsclerotia gedood worden (Vandecasteele e.a., 2018).

2.5.2 Synthese weerbaarheidskansen groeimedia

In Tabel 8 worden de in paragraaf 2.5.1 besproken groeimediabestanddelen in een overzicht geplaatst waarmee een indruk kan worden verkregen van hun relatieve bijdrage aan een weerbaar microbioom in de uiteindelijke groeimedia (dus mengsels van de besproken groeimediabestanddelen). Dit overzicht geeft inzicht in de bijdrage van de groeimedia aan microbiële activiteit maar houdt nog geen rekening met de even grote invloed van de plant en eventueel ook die van de gebruikte organische meststoffen en niet-microbiële biostimulanten (zie hiervoor ook Tabel 10). Een voorbeeld van het gebruik van Tabel 8 is dat het mengen van digestaat en schors een interessant mengsel zou moeten opleveren. Een meer kwantitatief ontwerp van een teeltsysteem is pas mogelijk na het toepassen van de metingen aanbevolen in hoofdstuk 3 (zie ook Box 7).

Tabel 8

Schatting door de auteurs van een aantal eigenschappen rond microbiële activiteit in verschillende groeimediabestanddelen. "+" is meer maar niet in elk geval beter!

	Activiteit	Soorten	Bacterien	Schimmels	Ziekteonder- drukkend	N- immobilisatie	CFU/mL
Veen	--	-	--	++	+	+	10^4 - 10^6
Steenwol	--	-	++	--	0	0	10^4 - 10^6
Kokosproducten	0	0	+	+	0	+	10^4 - 10^6
Schors	+	+	+	++	0	++	10^4 - 10^6
Houtvezel	0	0	0	+	0	+++	10^5 - 10^7
Kleikorrels	--	-	++	--	0	0	10^4 - 10^6
Waterteelten	--	-	-	-	0	0	$<10^2$
Sfagnum	--	-	--	++	+	+	10^4 - 10^6
Perliet	--	-	++	--	0	0	10^4 - 10^6
Compost	++	++	++	+++	++	+	10^8 - 10^{10}
Schuimen	--	-	++	--	0	0	10^4 - 10^6
Bioschuim	+	+	+	+	0	0	10^4 - 10^6
Chitine/Keratine	++	-	++	0	+	0	
Dekaarde en champost	++	0*	+	++	++	0	10^7 - 10^9
Digestaten	++	+	++	+	+	+	10^5 - 10^9
Rijstekaf	0	0	0	+	0	+	$<10^5$
Stro	+	+	+	+	0	+++	$>10^5$
Biochar	0	0	0	0	0**	+	
Vermicompost	++	++	++	+++	++	+	10^8 - 10^{10}

Een lage activiteit als van veen en steenwol betekend allerm minst dat de media steriel zijn: niveaus van 10^4 tot 10^6 CFU/mL zijn mogelijk (Koohakan e.a., 2004).

*afhankelijk van narijpen

** veel publicaties laten zien dat in bodem geteste biochars ziekten onderdrukken, in groeimedia is dat niet aangetoond. Het is mogelijk dat in bodems, biochars die licht toxisch zijn, ziekten onderdrukken terwijl dezelfde biochars in groeimedia tot onacceptabele groeiremming zouden leiden (Bonanomi, 2015 ; Graber e.a., 2014).

2.5.3 Conclusies weerbaarheidskansen groeimedia

Dit overzicht laat enkele voorlopige algemene conclusies toe die richting kunnen geven aan verder onderzoek:

- De inerte materialen steenwol, perliet en kleikorrels bevatten geen koolstof die vrij kan komen. Er zullen zich micro-organismen ontwikkelen die leven van de uitscheiding van koolstof van de planten of van koolstof uit door de wortels uitgescheiden koolzuurgas. Een deel van deze micro-organismen kunnen langzaam mineralen vrijmaken. Uit metingen blijkt het niveau microbiële massa (PLFA-metingen) lager te liggen dan in organische groeimedia maar op basis van cfu/mL (uitplaten) lijkt dat verschil veel kleiner te zijn (Koohakan e.a., 2017). Omdat de microbiële activiteit afhangt van de koolstof van de plant, meststoffen of toevoegingen, duurt het na aanvang van de teelt 2-6 weken voor de microbiële activiteit na aanvankelijke toename een evenwicht bereikt.
- De droog geleverde en/of sterk verhitte producten kokos, houtvezel en biochar hebben 2-6 weken nodig voor de microbiële activiteit op gang komt en een evenwicht bereikt. Deze periode begint voor matten bij het bevochtigen bij aanvang van de teelt. In potgrondmengsels die vochtig opgeslagen worden, zoals mengsels met veen, composten en digestaten, begint de toename van activiteit vanaf het moment van mengen.

- Veen is al actief bij productie, maar op een laag niveau van activiteit, passend bij de lage afbraaksnelheid van het materiaal.
- Composten, bark (mits zoals gebruikelijk gecomposteerd) en digestaten zijn direct al zeer actief bij productie en gebruik.
- Er is nog geen voorkeur voor schimmels of bacteriën in het uiteindelijke groeimedium. Er is wel een voorkeur voor diversiteit omdat dit het voor invasieve soorten en ziekten moeilijker maakt snel uit te breiden. Er is een afkeer van materialen die zo snel afbreken dat een onstabiele soortensamenstelling volgt. Dit lijkt te gelden voor materialen met een C:N verhouding < 12 en voor materialen met een OUR > 12 . Bij deze waarden ontstaat een snelle afbraak die afneemt in de tijd. Dit leidt tot een snelle opeenvolging van de soorten die de overhand hebben. Bij snelle wijzigingen zijn invasieve soorten en ziekten in het voordeel (Järvenpää e.a., 2021).

Het ligt daarom voor de hand om voor weerbare mengsels te streven naar het mengen van minder afbreekbare en sterk afbreekbare materialen om een gemiddelde gewenste activiteit te bereiken. Hierbij is van de afbreekbare materialen minder nodig dan van de minder afbreekbare materialen. Een voorbeeld ter verduidelijking: 90%v/v veen met 10^5 cfu en 10%v/v compost met 10^9 cfu geeft een eindaantal van meer dan 10^8 cfu. Het kleinere aandeel snel afbreekbare materialen is gunstig, omdat deze bij hoge aandelen in mengsels vaak problemen geven met ongunstige eigenschappen zoals te hoge EC en pH. Zeer afbreekbare materialen zoals onrijpe compost, compost met te veel bladmateriaal (dus ook vers gras) en composten met gekookte voedselresten zijn ongeschikt omdat ze de ziektedruk verhogen ook bij lage inmengpercentages van 5-10%v/v. Bij het produceren van stabiele composten kunnen deze materialen in kleine hoeveelheden een enkele keer gunstig werken, maar daarbij wordt bijna de hele droge massa in de compostering al omgezet in koolzuurgas en voedingszouten. Het is dan ook doeltreffender deze onstabiele compostbronnen als meststoffen te beschouwen in plaats van als groeimedia.

2.5.4 Aanvullende overweging bij gebruik groeimedia in teeltsystemen

Tabel 9 laat zien hoe de materialen van Tabel 8 gekoppeld kunnen worden aan bepaalde teeltsystemen/toepassingen in de tuinbouw. Niet elke groeimediumbestanddeel is geschikt voor elk teeltsysteem. Het is daarom verstandig onderzoek naar de weerbaarheid door groeimediabestanddelen te richten op die toepassingen waarbij de gekozen groeimediabestanddelen het best passen en ook in vervolgstappen (opkweek – doorteelt) blijven bijdragen. Dit betekent een voorkeur om materialen die in de opkweek van een bepaald gewas effectief zijn, te laten terugkomen in het mengsel gebruikt voor de doorteelt van dat gewas. Een voorbeeld van het gebruik van Tabel 9 is dat hieruit blijkt dat het inzetten op bioschuim (biobased en biodegradeerbare kunststof) het best gestart kan worden in de opkweek.

Tabel 9

Schatting door de auteurs van de bijdrage aan de algemene weerbaarheid (door microbiële activiteit en diversiteit) voor verschillende groeimediabestanddelen versus een grove indeling van teeltsystemen.

	Opkweek	Opkweek	Teelt	Teelt	Teelt	
	Pluggen	Blokken	Matten	Containers binnen	Containers buiten	
Veen	+	+	0	++	+	
Steenwol	+	++	++	--***	--***	
Kokosproducten	+	+	++	++	+	
Schors	-	0	0	+	++	
Houtvezel	+	+	++	++	+	
Kleikorrels	--	--	0	++	+	bedden
Waterteelten						vijvers goten
Sfagnum	+	+	0	++	+	
Perliet	0	0	++	++	++	
Compost	++**	++**	0	+	+	
Schuimen	--***	--***	--***	--***	--***	
Bioschuim	++	+	0	--***	--***	
Chitine/Keratine	?	?	+	++	++	
Dekaarde en champost	++**	++**	++**	++**	++**	
Digestaten	?	?	-	0**	0**	
Rijstekaf	--	--	+	++	++	
Stro	--	--	--	--	--	****
Biochar	--	++	++	++	++	
Vermicompost	++	++	++	++	++	

* Als langzame koolstofbron

**Mits gemaximaliseerd

***Lijkt niet acceptabel voor de consument

****Moet ingrijpend bewerkt worden (Blok e.a., 2016)

Opkweek pluggen

Weinig verrassend is dat in de opkweek fijnere materialen nodig zijn en dat de zoutlast voor de jonge planten lager moet zijn dan voor grotere planten. Het materiaal mag ook weer niet te fijn of te dicht zijn omdat het na overplanten geen vocht uit het doorteeltmedium moet aanzuigen. Als toch vocht wordt aangezogen, ontstaan typische ziekten als *Pythium*, *Phytophthora* en *Fusarium*. De basisgedachte voor het microbiom is, dat een plant rond zijn wortels een microbiom verzamelt dat onderdeel is van een evenwicht tussen de plant en het bepaalde omringende groeimedium. Bij uitgroeien van de wortels in een doorteeltmedium, neemt de wortel op zijn oppervlak het microbiom uit het opkweekmedium mee. Dit kan betekenen dat een microbiom in het nieuwe doorteeltmedium snel en doeltreffend tot stand komt. Als opkweek en doorteeltmedium microbiel te sterk verschillen kan het zo zijn dat de plant nieuwe wortels met een nieuw microbiom moet maken. Er is hier een kans voor de nieuwe biobased en biodegradeerbare schuimmaterialen, eventueel gecombineerd met microbiom van het doorteeltmateriaal. Dat kan door bijmengen van materiaal met een het gewenste microbiom maar mogelijk ook door het water via een bioreactor te betrekken waarbij de bioreactor een gewenst microbiom toevoegt.

Opkweekblokken

Idealiter zijn de blokken van hetzelfde materiaal en microbioom als de opkweekpluggen. Als dat niet zo is, is het nuttig als de pluggen water verliezen bij het overplanten zoals steenwolpluggen en pluggen van biodegradeerbaar schuim. De wortels zullen dan vlot uitgroeien naar het nattere en minerale voedingsrijkere vervolgmedium. Bekend is dat de uitgroeïende wortels het microbioom, gevormd onder invloed van de plant en het opkweekmedium, meedragen het teeltmedium in. Het is nuttig dat het microbioom in het opkweekmedium niet te sterk verschilt van dat in het doorteeltmedium. Bij te grote verschillen zal de plant nieuwe wortels aanmaken voor het teeltmedium in plaats van door te groeien met de wortels uit het opkweekmedium.

Teeltmatten

Idealiter zijn de matten van hetzelfde materiaal en microbioom als de blokken. Als dat niet zo is, is het nuttig als de blokken water verliezen bij het overplanten. De wortels zullen dan vlot uitgroeien naar het nattere en voedingsrijkere vervolgmedium. Het uitgroeien van de wortels wordt soms gehinderd als het microbioom van het teeltmedium sterk verschilt van dat in het opkweekmedium.

Teeltcontainers binnen

In deze teelten worden mengsels van groeimedia gebruikt die zijn afgestemd op de combinatie gewas, gewasstadium en watergeefstelsel van een bepaalde teler. Bij het samenstellen van de mengsels wordt tot nu toe weinig rekening gehouden met het microbioom dat zal ontstaan in de gekozen mengsels. Een belangrijke reden hiervoor is dat er geen overeenstemming is over wat een wenselijk microbioom is, noch wat betreft het wenselijke niveau van microbiële activiteit, noch wat betreft de beoogde verhouding tussen de belangrijkste microbiële soortengroepen. Het gebrek aan bruikbare meetmethoden speelt hier pas in tweede instantie een rol.

Teelt containers buiten

Deze teelten kennen door regen grote schommelingen in zowel watergehalte als voedingsconcentratie. Ziekten met zwemsporen (*Olpidium*, *Pythium*, *Phytophthora*) profiteren hiervan, maar ook ziekten die gebruikmaken van verzwakte celwanden door tijdelijk te lage voedingsgehalten (*Botrytis*, bacterieziekten). Dit betekent dat groeimedia met een grote waterdoorlatendheid en een nalevering van voeding voordeel bieden. De waterdoorlatendheid vraagt om grove en drogere materialen als schors, houtvezel, perliet en grove compost. De nalevering van voeding vraagt om veel voeding in de totaalanalyse (composten en digestaten) in combinatie met een hoog vermogen voeding elektrostatisch te binden (de CEC of cation exchange capacity). Een hoge CEC wordt gevonden op kokos, compost, klei en sommige biochar. De voeding op de bindingsplaatsen is beschikbaar voor de plant maar kan niet uitspoelen.

3 Inventarisatie aanvullende maatregelen voor weerbaarheidsverhoging van geïdentificeerde groeimedia

3.1 Achtergrond

3.1.1 Samenleven van planten en micro-organismen in de bodem

Planten hebben in de loop van hun evolutionaire geschiedenis het vermogen ontwikkeld te wortelen in een gamma aan verschillende ondergronden. Naast de beschikbaarheid van licht en koolzuurgas voor de bovengrondse delen, waren en zijn de beschikbaarheid van water, voedingselementen, zuurstof en houvast belangrijke voorwaarden voor succesvolle groei. Het is daarom begrijpelijk dat de lijst van groeimedia waarop succesvol geteeld kan worden bij aanvoer van voldoende voedingselementen lang is. Uiteenlopende producten als veen, steenwol, hazelnootschalen en plasticafval blijken te voldoen.

Tijdens deze evolutie hebben planten mechanismen ontwikkeld om in symbiose met micro-organismen voeding uit de hen omringende omgeving vrij te maken, en om de mee-ontwikkende ziekten en plagen beter het hoofd te bieden. De plant levert bladafval en wortellexudaten die gebruikt worden door micro-organismen, de micro-organismen maken op hun beurt voedingselementen vrij en onderdrukken bodemziekten. Voor deze studie is van belang dat microbiële activiteit dus vrijwel nooit uitsluitend gericht is op weerbaarheid tegen ziekten, maar ook op het vrijmaken van voedingsstoffen en dat de snelheid van het verteren van organische stof de microbiële activiteit bepaalt. Dat wil zeggen dat studies die er eenzijdig van uitgaan dat weerbaarheid het doel van de micro-organismen is, minder zicht hebben op de stuurbaarheid van die micro-organismen.

Naast aandacht voor de microbiële activiteit en vrijkomende voedingsstoffen is het ook nuttig te kijken naar andere microbiële verteringsproducten (secundaire organische stof en humusverbindingen). Secundaire organische stof en humusverbindingen vervullen ook een rol bij het vasthouden of vrijmaken van voedingselementen en het onderdrukken van ziekten. Bij de teelt van gewassen op groeimedia anders dan bodem, en zeker bij inerte materialen als steenwol, is tot nu toe maar beperkt aandacht geweest voor de relatie van de plant met de omringende microbiologie. Enige tijd is gedacht dat door systemen zoveel mogelijk vrij te houden van micro-organismen, ziekten gemakkelijk buiten de deur te houden zouden zijn. Daarbij speelde een rol dat die systemen niet werkelijk vrij waren van de micro-organismen, maar dat met de toen beschikbare technieken micro-organismen maar beperkt meetbaar waren. Inmiddels is duidelijk dat in groeimedia zonder micro-organismen, dat wil zeggen gesteriliseerde groeimedia, bepaalde ziekten snel veel planten kunnen aantasten (Lugtenberg, 2015). Dit omdat als er ziekte het systeem binnendringt, er geen competitie is van al gevestigde micro-organismen. 'De lei is schoon' en kan ingevuld worden door de ziekte.

Belangrijk is te stellen dat dit verschil NIET algemeen geldt voor het verschil inert groeimedium versus organisch groeimedium. Een paar voorbeelden illustreren dat hier kennis en nuance nodig zijn. Zo is een steenwolmedium niet per definitie gevoeliger voor ziekten dan een organisch groeimedium. Wel bleken komkommers op nieuwe steenwolmatten en hergebruikte gesteriliseerde steenwolmatten gevoeliger voor *Pythium*aantastingen dan hergebruikte niet-gesteriliseerde matten. Om *Pythium* tegen te houden is de algemene microbiële activiteit meestal genoeg (*Pythium* kan maar matig concurreren met andere micro-organismen). In tegenstelling tot *Pythium*, blijkt uit verschillende onderzoeken dat veen/kokos niet echt weerbaar is tegen *Fusarium*, ondanks relatief "veel" micro-organismen. Voor *Fusarium* is "specifieke" weerbaarheid nodig (Montagne, e.a., 2016, 2017). Het ziekmakendvermogen van *Fusarium* is in het voorbeeld dus groter dan dat van *Pythium*.

Box 4: Illustratie belang van het bodem microbioom met een quote uit van Elsas e.a., 2020

“Essentially, all life depends upon the soil. There can be no life without soil and no soil without life; they have evolved together.” (Charles E. Kellogg, 1938). Living soils are indispensable for human persistence as they are the environments where key bio geochemical processes take place. Such life-support processes, for example, the cycling of carbon, nitrogen, sulphur, and phosphorus, are primarily carried out by different members of the soil microbiomes. Moreover, soil microbiomes are useful given their potential capacities to produce compounds that are important for biotechnology, industry and medicine. In light of its relevance for the functioning of Earth’s ecosystem, soil microbiology has been termed one of the last “frontiers” in science.

3.1.2 Belang van groeimedia en de ontluikende rol van weerbaarheid daarbij

Het wereldwijde areaal kassenteelt bestaat uit 0.5 Mio ha permanente kasstructuren en 5-6 Mio ha tijdelijke kasstructuren (HortiDaily 2019). De verwachting is dat het gebruik van groeimedia toeneemt van 67 Mio m³ in 2017 tot 283 Mio m³ in 2050 (Blok e.a., 2021a). Daarbij is de productie van een oppervlakte-eenheid teelt op groeimedia in beschermde teelt een factor 10 hoger dan in de vollegrond (Gruda, 2020; Zhou e.a., 2021). Door 1 ha teelt op groeimedia in beschermde teelt is in theorie een areaaluitbreiding van 9 ha vollegrond te voorkomen of terug te draaien. Daarnaast biedt de teelt op groeimedia de kans op een 50% hogere water gebruiksefficiëntie, 60% hogere meststofgebruiksefficiëntie en een vrijwel nul-emissie van chemische hulpmiddelen (Blok e.a., 2021b; Zhou e.a., 2021). Potentieel kan de teelt op groeimedia ook plaatsvinden op voor landbouw ongeschikte gronden of op of in gebouwen.

Het grotere inzicht in het belang van microbiologie vanaf de zestiger jaren van de vorige eeuw is hand in hand gegaan met de veel betere analysetechnieken (Montgomery and Biklé, 2016). Vanaf de zeventiger jaren groeit de belangstelling voor het verhogen van de weerbaarheid van het groeimedia en de plant door sturing van het microbioom in een groeimedia. Een volgende logische stap is deze natuurlijke weerbaarheid, bij voldoende onderbouwde kennis, als basisvoorwaarde te stellen voor maatschappelijk acceptabel teeltsysteem.

De diversiteit en de activiteit van het microbioom nemen toe wanneer organische stoffen worden aangevoerd. De samenstelling en kwaliteit van de organisch stof is daarbij ook van wezenlijk belang voor het type weerbaarheid van groeimedia. Het gaat dus niet alleen om verhogen van het percentage koolstof, er is ook kennis nodig van de aard en microbiële gevolgen van organische stofbronnen. Daarom is de eveneens maatschappelijk gewenste overschakeling van lineaire (kunst)meststoffen naar circulaire (organische) meststoffen, een grote kans voor het versneld ontwikkelen en sturen van een gewenst microbioom. Mits er voldoende kennis is van de verschillende organische stofsoorten en hun effecten kan de activiteit van het microbioom gericht gestuurd worden door het gebruiken van zorgvuldig gekozen (mengsels van) organische groeimedia, organische meststoffen en organische toevoegingen.

3.2 Toetsingskader voor het beoordelen van maatregelen en hun samenhang

Om te kunnen bepalen welke maatregelen telers kunnen treffen om via sturing van groeimediafactoren een weerbaarder gewas te realiseren is een toetsingskader opgesteld voor het beoordelen van maatregelen en hun samenhang.

NB: Een weerbaarder gewas betekent hier een gewas dat, in een evenwicht met zijn omgeving, in staat is de ziektedruk in de omgeving te weerstaan. Het is een vorm van algemene gezondheid of conditie.

Hierbij zal blijken dat sommige maatregelen generiek zijn terwijl andere alleen zinvol zijn voor bepaalde teelten of technische omgeving. Maatregelen zijn niet beperkt tot de soort organische stof in groeimedia, meststoffen, toeslagstoffen en plantexudaten, maar gaan alle bekende invloeden op microbiële activiteit van invloed op de weerbaarheid omvatten. Maatregelen omvatten dus ook omgevingsfactoren (abiotische factoren) die microbiële activiteit bepalen zoals zuurgraad, temperatuur, watergehalte en luchtgehalte. Maatregelen omvatten ook aspecten van de toedieningstechniek zoals frequentie van toedienen, en verspreiding in het bewortelde volume. Het toetsingskader volgt uit een definitie van weerbaarheid gevolgd door de voor groeimedia weerbaarheidsbepalende factoren en een uitwerking hiervan tot een aantal criteria. De criteria worden ontleend aan de bestaande literatuur en geven wenselijke waarden voor functionele groepen, microbiële activiteit, stabiliteit van de microbiële populatie, omgevingsfactoren, en de snelheid waarmee microbiële voeding vrijkomt.

3.2.1 Definitie weerbaarheid groeimedia

Voor de visie Weerbaar Teeltsysteem van BO Groene Gewasbescherming is de volgende conceptdefinitie opgesteld:

Een weerbaar groeimedium (1) heeft een microbioom met de juiste samenstelling (micro-organismen, die plantweerbaarheid aanzetten, micro-organismen die direct ziekte aanpakken), aangevuld met (2) een teeltwijze/eigenschappen van het teeltsysteem die direct of indirect de ziekte aanpakken. Leidend hierbij zijn de 4 pijlers van een weerbaar teeltsysteem: hygiëne, optimale omstandigheden plant, optimale omstandigheden voor remming ziekten/plagen, robuuste rassen.

Om problemen met de kwalificatie “juiste samenstelling” te vermijden en om het begrip “plantweerbaarheid” te verduidelijken hebben we de conceptdefinitie verder aangescherpt:

Een weerbaar groeimedium:

1. *Heeft micro-organismen die de plantweerbaarheid verhogen door de plant aan te zetten plantinhoudsstoffen met een potentieel onderdrukkende werking op ziekten en plagen te maken.*
2. *Heeft micro-organismen die één of meerdere ziekten en/of plagen in de betreffende teelt kunnen onderdrukken.*
3. *Heeft micro-organismen die de weerbaarheid tegen abiotische stress verhogen.*
4. *Past in een teeltsysteem waardoor direct of indirect ziekten en/of plagen worden onderdrukt en het desbetreffende teeltsysteem zorgt voor een gunstig klimaat voor het opbouwen dan wel in stand houden van de micro-organismen die bijdragen aan een weerbaar groeimedium (1 en 2).*

Leidend hierbij zijn de 4 pijlers van een weerbaar teeltsysteem: hygiëne, optimale omstandigheden plant, optimale omstandigheden voor remming ziekten/plagen, robuuste rassen.

Volgens deze definitie dragen micro-organismen die de opname van nutriënten verbeteren ook bij aan de weerbaarheid van groeimedia. Niet omdat ze direct invloed hebben op ziekten, maar via de pijler ‘optimale omstandigheden plant’. Hieruit volgt ook dat, naast dat de juiste micro-organismen in het wortelmilieu aanwezig moeten zijn, er een aantal teeltaspecten zijn die van grote invloed kunnen zijn op het microbioom. We denken hierbij aan gewas, plantstadium, meststoffen, watergeefstelsysteem, steunstelsysteem en teeltklimaat (samen met een groeimedium vormen de genoemde zaken het teeltsysteem).

Box 5: Voorbeeld van een definitie uit het bodemonderzoek

De hierboven gegeven definitie van weerbaarheid in groeimedia wijkt nu af van de veel breder geaccepteerde definitie gebruikt voor bodemweerbaarheid (zie hieronder in Engels). De verschillen zijn:

1. In de definitie gebruikt voor bodemweerbaarheid, ligt de focus op de effecten van het microbiom op pathogenen. Het effect op pathogenen kan algemeen zijn (verdringing van een pathogeen) of specifiek (direct bestrijdend van één pathogene soort).
2. In de definitie voor de bodemweerbaarheid worden effecten op de weerbaarheid van de plant niet meegenomen, dat wil zeggen het aanzetten van de chemische verdediging van de plant zelf (plantenweerbaarheid).

Soil suppression definition (source: 10.1094/phyto-03-17-0111-rvw)

'Soil suppression': soils in which, because of their microbial makeup and activity, a pathogen does not establish or persist, establishes but causes little or no disease, or establishes and causes disease at first but then the disease declines with successive cropping of a susceptible host even though the pathogens may still persist in the soil.

'General suppression: the ability of soils to inhibit the growth and activity of soilborne pathogens to some extent, owing to the collective competitive and antagonistic activity of the total soil microbiome competing with the pathogen(s)'

'Specific suppression': Specific suppression is highly effective; it results from individual species or select groups of microorganisms; is transferable by adding pure cultures or very small amounts (1 to 10%) of suppressive soil to a conducive soil; and generally, is eliminated by pasteurization'.

Deze definities gaan niet in op abiotische stress of de wettelijke status van de bedoelde micro-organismen (Box 2).

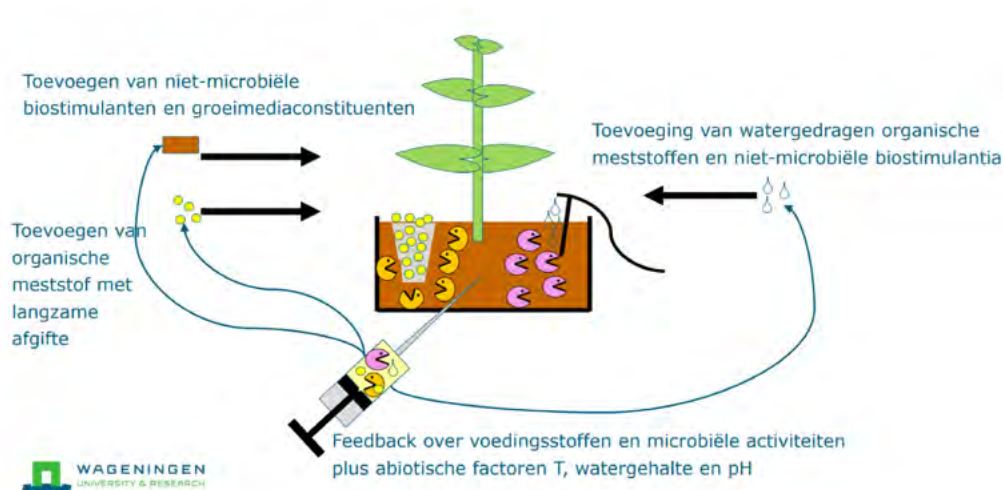
Er bestaan ook andere definities waarin wordt gesteld dat, als een groeimedium binnen een bepaalde bandbreedte van fysisch, chemische en biologische eigenschappen valt, het gewas optimaal kan groeien en ziekten optimaal onderdrukt worden. Deze definitie gaat sterk uit van het groeimedium als doorslaggevende factor voor de gezondheid van de wortelomgeving. We zullen zien dat het functioneren van de microbiologie in de wortelomgeving mede afhankelijk is van de plant, de organische meststoffen en andere organische toevoegingen en ook van abiotische factoren (minstens temperatuur, watergehalte en zuurgraad).

3.2.2 Weerbaarheidsbepalende factoren

In diverse projecten rond Circulariteit is een visie op weerbaarheidsbepalende factoren van een teeltsysteem aan het ontstaan (Van Tuyll e.a., 2022). De bedoelde projecten zijn KB-studie Circulaire Glastuinbouw, Cv100 studie Circulaire Stroom, de PPS Circulaire Groeimedia, de PPS Circulaire Meststoffen, de PPS Weerbare Substraten, de PPS Paddenstoelen in de circulaire glastuinbouw en projecten rondom biologische controle/beheersing van ondergrondse ziekten, zoals PPS Green Challenges, PPS Wortelmilieu en PPS Biorationals binnen IPM in strijd tegen ondergrondse ziekten. De ontluikende visie op weerbaarheidsbepalende factoren van een teeltsysteem omvat:

- A. Een acceptabel teeltsysteem is vooraf vrij van inherente ziekten. Dat wil zeggen dat de inrichting van het systeem niet al bepaalde ziekten een grote kans moet geven. Voorbeelden van inherent ziektegevoelige systemen zijn *Pythium* en *Phytophthora* in systemen met regelmatig te hoge watergehaltes; *Rhizoctonia* in systemen waar de wortelomgeving te veel warmte ontvangt; *Fusarium* als drainwater van de ene naar de andere plant kan lopen. Belangrijk is hierbij te beseffen dat ziekten onderdeel zijn van elk natuurlijk evenwicht, ook in teelt op groeimedia. Weerbaar betekend niet 100% ziektekiemen vrij. Weerbaarheid betekend dat in het teeltsysteem geen ziektesymptomen optreden ook bij toevallig binnendringen van ziektekiemen. Een systeem met inherente ziekten zal, door het toepassen van maatregelen voor een zo gunstig mogelijk microbiom, toch niet ziektevrij worden omdat de ziekte een te groot onderdeel is van het lokale natuurlijke evenwicht. Het herkennen van inherent ziektegevoelige systemen voorkomt dus veel kansloos werk.

- B. Er is kennis en beheersing van de aanvoer van organische stof op elk moment tijdens de teelt. Dat betekent dat er inzicht is in de hoeveelheid aanvoer van koolstof als de indicator voor algemene microbiële activiteit:
- Van de plant.
 - Van het groeimedium.
 - Van de meststoffen.
 - Van niet-microbiële biostimulanten (de rol van microbiële biostimulanten is, uitzonderingen daargelaten, niet die van koolstofbron).
- C. Er is kennis en beheersing van de abiotische factoren die de activiteit van aanwezige micro-organismen bepalen op elk moment tijdens de teelt. Voorbeelden zijn temperatuur, zuurstof, watergehalte en zuurgraad.
- D. Er is feedbackinformatie beschikbaar over voeding (16 elementen), microbiële activiteit, soortensamenstelling en abiotische factoren waarop aanpassingen van het systeem kunnen worden gebaseerd (het beginsel van een meet en regelkring; Figuur 1). De soortensamenstelling slaat hier op informatie over de functionele groepen waarop gestuurd wordt. Regeltechnisch zou ook het aandeel ziekteverwekkers als feedback kunnen dienen maar dat is hier uitdrukkelijk niet bedoeld. Hier wordt geprobeerd de weerbaarheid van het systeem regelbaar te maken, onafhankelijk van het al dan niet aanwezig zijn van ziekteverwekkers.
- E. Voor de volledigheid: er is ook kennis en beheersing m.b.t. optimale teelt (kasklimaat, licht, water etc.), in lijn met de definitie. Dus zaken die niet direct op de micro-organismen van invloed zijn maar wel de weerbaarheid van de plant meebepalen, bijvoorbeeld een suboptimale EC.



Figuur 1 Schets van een teeltsysteem waarin een bepaald microbioom ontstaat en wordt gehandhaafd door het kiezen en sturen van de aanvoer van microbiëel beschikbare koolstof uit groeimediacomponenten, vaste en vloeibare circulaire meststoffen, en vaste en vloeibare niet-microbiële biostimulanten. De microbiële omzettingssnelheid wordt mede bepaald door abiotische factoren (niet getoond).

Het is dus nuttig te weten wat de potentiële invloed is die een plant, een groeimedium, een organische meststof of een niet-microbiële biostimulant samen op de microbiële activiteit kunnen hebben. Om de bijdrage van de verschillende organische stofbronnen te begrijpen is het nodig die invloed kwantitatief uit te drukken in één te vergelijken eenheid. De hoeveelheid koolstof per m² teelt per dag ligt hierbij voor de hand. Dat komt omdat het een eigenschap van de snelle vermenigvuldiging van micro-organismen is dat de populatie/activiteit in evenwicht is met de snelheid waarmee voeding vrijgemaakt kan worden (Brock, 2019, p 180). Daarbij is koolstof het element dat bepaald hoe snel organische structuren en moleculen afgebroken kunnen worden. In Tabel 10 worden resultaten weergegeven uit de PPS Wortelmilieu waarin de potentiële invloed van verschillende behandelingen volgens deze methode worden vergeleken. Dit laat onverlet dat bij verdere detailstudie binnen de algemene activiteit, bepaalde functionele groepen juist heel specifiek reageren op bijvoorbeeld de gehalten van N, P en S binnen de koolstofbronnen. De C:N verhouding heeft ook invloed op de verhouding tussen het aandeel schimmels ten opzichte van het aandeel bacteriën.

Tabel 10

Vergelijking van de potentiële invloed van plant, groeimedium, organische meststof en toeslagstoffen op de microbiële activiteit op basis van de hoeveelheid vrijkomende koolstof over een periode van 360 dagen uitgedrukt voor koolstof in mg/m²/d (PPS Wortelmilieu, proeven in 2020 en 2021).

Factor	Level	2020	2021	Eenheid
Plant	Geschat (literatuur)	300	300	mg/m ² /d
Groeimedium	steenwol	0	0	mg/m ² /d
	kokos	500		mg/m ² /d
Meststof	mineraal	0		mg/m ² /d
	deels bio-meststof*	180	184	mg/m ² /d
Toeslagstof	chitine hoog	15	25	mg/m ² /d
	Chitine laag	3	7	mg/m ² /d
	champost hoog	18	21	mg/m ² /d
	champost laag		7	mg/m ² /d
	thee5% chitine hoog		25	mg/m ² /d
	thee1% chitine laag		7	mg/m ² /d
	thee5%		13	mg/m ² /d
	thee1%		3	mg/m ² /d

* Deze organische meststof (een eiwithoudende suspensie, Viscotec-blu) is maar ten dele gebruikt en had een ongewoon hoge C:N verhouding. De vrijkomende koolstofstroom is dus lager dan voor andere organische meststoffen.

3.2.3 Criteria voor beoordeling van maatregelen

Vanuit de definitie (3.2.1) en de weerbaarheidsbepalende factoren (3.2.2) bespreken we nu de implicaties van beide paragrafen, voor op groeimedia gebaseerde teeltsystemen. We besluiten de besprekingen steeds met criteria voor het inrichten en sturen van een op groeimedia gebaseerd teeltsysteem. Hopelijk is uit voorgaande alinea's duidelijk geworden dat criteria voor groeimediakeuze alléén tekortschieten omdat de invloed op het microbiom en weerbaarheid ook afhangt van gewas, plantstadium, meststof, watergeefstelsel, steunsysteem en teeltklimaat (samen met een groeimedium vormen de genoemde zaken het teeltsysteem).

A. **Een microbiom met de juiste samenstelling.** Dit deel van de definitie veronderstelt kennis die momenteel maar fragmentarisch beschikbaar is. In grote lijnen geldt dat er waardering is voor:

- Een hoge microbiële activiteit en een grote microbiële diversiteit, vanuit de gedachte dat dit een direct in competitie betekent met ziekteverwekkers om ruimte en voeding.
- Geslachten die de algemene afbraak van organische stof bevorderen. Verschillende schimmels en bacteriën spelen een belangrijke rol hierin. In organische groeisubstraten zijn er veel schimmels aanwezig zoals *Mortierella*, *Mucor*, *Penicillium* die complexe organische verbindingen kunnen afbreken (Montagne e.a., 2017).
- Geslachten die de beschikbaarheid van verschillende macro- en micro-elementen kunnen beïnvloeden. Voorbeelden daarvan zijn micro-organismen die de omzetting van organischgebonden stikstof naar nitraat bevorderen. Bekende functionele groepen micro-organismen zijn AOB en NOB (respectievelijk Ammonia Oxidizing Bacteria en Nitrite Oxidizing Bacteria), vroeger, wat te beperkt, bekend als *Nitrosomas* en *Nitrobacter* soorten. AOB en NOB zijn in bodems van groot belang maar spelen in groeimedia alleen een rol als er geen overvloedige aanvoer is van nitraat uit andere bron. Die ander bron is nu vaak een niet circulaire kunstmeststof maar kan ook geleverd worden na vertering van organisch basismateriaal in een oxidatieve bioreactor (meststoffen van Van Der Knaap, van Iperen en Biota).

- d. Micro-organismen die communicatie tussen afzonderlijke cellen van pathogenen (quorum sensing) kunnen beïnvloeden. Er zijn veel soorten bacteriën bekend die verschillende enzymen produceren die signaalstoffen van plantpathogene bacteriën afbreken. Voorbeeld zijn sommige *Bacillus* stammen die lactonase enzymen produceren, waarmee de signaalstoffen acyl homoserine lactonen (AHL's) afgebroken worden (Park e.a., 2008).
 - e. Antagonistische micro-organismen, die via verschillende mechanismen kunnen werken waaronder de productie van antibiotica (*Penicilium*, *Streptomyces*), de productie van vluchtige stoffen (veel bacteriën), en de afbraak van de celbouwstof voor schimmels (chitine), met het enzym chitinase (o.a. *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Actinobacteria* en *Trichoderma*) (Bubici, 2018; Gilardi e.a., 2018; Postma e.a., 2019; Streminska e.a., 2020).
 - f. Helper micro-organismen, die vaak geen direct effect hebben op een pathogeen, maar door interactie met andere soorten in groeimedium uiteindelijk pathogeen onderdrukkend zijn (Hermenau e.a., 2020).
- Naast de genoemde voorbeelden zijn er nog duizenden publicaties over vele mechanismen die (soms) plantengroei bevorderen en ziekte-ontwikkeling remmen. Het aantal bekende mechanismen loopt dan ook in de tientallen. Bekende handboeken op dit gebied zijn Brock 2017; Lugtenberg, 2015 en van den Elsas, 2020.

Een verbetering in de kennisopbouw is de focus op functionele groepen. Dat houdt in dat niet meer geprobeerd wordt één bepaalde soort te stimuleren, maar alle soorten die een bepaalde omzetting tot stand kunnen brengen. Het voordeel is dat er een minder nauwe afhankelijkheid is van specifieke microbiële voeding en abiotische factoren (temperatuur, watergehalte, pH en andere) waardoor er een grotere kans is dat minstens één van de soorten in de functionele groep uit de voeten kan met de specifieke teeltomstandigheden.

Het ontbreekt nog aan kennis over welke soorten/functionele groepen in een specifiek teeltsysteem van belang zijn EN het ontbreekt aan kennis over hoe deze soorten/functionele groepen reageren op de beschikbare combinatie van plant, groeimedium, meststoffen, toeslagstoffen en abiotische factoren.

Benodigde (en mogelijk verder te ontwikkelen) criteria voor het kiezen van een groeimedium zijn:

Criterium¹: Een kwantitatieve beschrijving van het beoogde teeltsysteem; dit is bedoeld om de onderdelen van een teeltsysteem te kunnen toetsen op het veroorzaken van inherente ziekten. De onderdelen van een teeltsysteem zijn groeimedia, gewas, plantstadium, meststoffen, watergeefstelsel, steunstelsel en teeltklimaat (Blok and Vermeulen, 2012). De bedoeling is om tal van "weetjes" over wat niet goed werkt systematischer dan tot nu te beoordelen. Een voorbeeld is dat het gebruik van een plug met hoge zuigkracht in een medium met lage zuigkracht leidt tot wortelsterfte. Dit was de oorzaak van *Pythium*, *Phytophthora* en *Fusarium* in Miltonia-orchideeën enkele jaren terug (Kromwijk e.a., 2012). De opkweekfasen en de doorteelt moeten dus als één geïntegreerd teeltsysteem worden beschouwd, om dat systeem maximaal ziektevrij te houden.

Criterium²: Kennis van het functionele microbiom in de beoogde groeimedia uit een standaardtest.

Criterium³: Kennis van een gewenst functioneel microbiom (voor het beoogde teeltsysteem).

Criterium⁴: Kennis van de mogelijkheden voor het bijsturen van het functioneel microbiom in het bestudeerde teeltsysteem naar het gewenste functioneel microbiom bijvoorbeeld door: a) het bijsturen van de abiotische factoren (minstens temperatuur, watergehalte en zuurgraad van het groeimedium) en b) het bijsturen van de aanvoer van organische stof (uit de combinatie van plantexudatie, groeimedia, organische meststoffen en niet-microbiële biostimulanten).

- B. **Een teeltwijze die ziekten niet oproept.** Tot nu toe is er geen systeem om stelselmatig een teeltsysteem te beoordelen op de mate waarin het (on)gevoelig is voor ziekten. Toch is het bekend dat bepaalde teeltsystemen last hebben van steeds weer dezelfde ziekten, terwijl die in andere systemen nauwelijks een rol spelen. Het is dus belangrijk teeltsystemen eerst systematisch te beoordelen op inherente ziekten en de onderliggende structurele problemen op te lossen vóór geprobeerd wordt de ziekteverwerendheid van het teeltsysteem te verhogen. Daarbij speelt ook een rol dat biologisch bestrijding door toegediende micro-organismen, of door stimuleren van het aanwezige microbiom achteraf, maar matig instaat zijn een ziekte in te perken in de mate waarin sommige chemische bestrijdingsmiddelen dat kunnen. Het microbiom werkt meer als een al aanwezige buffer die preventief het oplopen van de ziektedruk tegengaat. Overigens: In veel studies is aangetoond dat de ook chemische bestrijdingsmiddelen ziekten niet volledig uitsluiten.

De opkweek-teeltsystemen en de doorteelt moeten zowel qua fysische eigenschappen als qua microbiom zo veel mogelijk op elkaar aansluiten. Dit wordt in de praktijk vaak vergeten. Sturing op microbiom gebeurt nu al vaak in opkweek, maar er worden meestal maar 1 of 2 soorten micro-organismen toegediend (die op de markt beschikbaar zijn). Deze zijn niet altijd de "juiste" keuze voor elke combinatie groeimedum en plant. Soms zijn er ook nog "helper" soorten nodig, die de werking van de effectieve soorten faciliteren. Verder geldt dat, als de wortel in de opkweek is gewend aan een bepaalde microbiologische omgeving, deze in de doorteelt opeens drastisch anders kan zijn. In het uiterste geval kan een plant wortels afstoten en de beworteling opnieuw starten. Bij het matchen van opkweek en doorteelt is winst te behalen, omdat de jonge planten op deze manier vanaf de start al kunnen reageren op een beschermend microbiom. Bovendien worden, bij het snel doorwortelen van het groeimedum in de teelt, sommige micro-organismen fysiek, op het worteloppervlak, door het nieuwe medum verspreid.

Wat fysieke eigenschappen betreft is het noodzakelijk dat de zuigkracht van opkweekmaterialen niet of nauwelijks groter is dan die van het doorteeltmedum. Is dit niet het geval dan volgen onherroepelijk bepaalde ziekten. Dit komt in de praktijk regelmatig voor als opkwekers of telers (al of niet in overleg met hun potgrondleverancier) zonder overleg hun groeimedum wijzigen.

Criterium⁵: Identificeren van teeltsysteem-inherente ziekten (de relatie ziekte met gewas, plantstadium, groeimedum, meststof, watergeefstelsel, steunstelsel en teeltklimaat).

Criterium⁶: Geen groeimedum aanbevelen voor systemen met inherente ziekteproblemen.

Teruggaan naar Criterium 2-4.

Criterium⁷: Opkweeksystemen en doorteeltssystemen qua fysische eigenschappen en microbiom op elkaar afstemmen.

- C. **De plant.** De plant oefent via het uitscheiden van allerlei organische stoffen een grote en vaak specifieke invloed uit op het microbiom. De orde van grootte van de exudatie is 300-900 mg C/m²/d (Lugtenberg, 2015; Waisel e.a., 2002; Tabel 10).

Criterium⁸: Vaststellen van de exudatiesnelheid en de hoofdsamenstelling van de exudaten per plant.

Criterium⁹: Vaststellen van de functionele groepen die de exudaten van een bepaalde plant benutten. Bij voorkeur in een gestandaardiseerde veldtest.

- D. **Het basismateriaal van de groeimedia.** De samenstelling en activiteit van de microbiële gemeenschap hangt sterk af van de aard van het gebruikte groeimedum c.q. de groeimediamix (Koohakan e.a., 2004; Kleiber e.a., 2012; Grunert e.a., 2016a; Grunert e.a., 2016b). Door de bestanddelen van de groeimedia verstandig te kiezen, kan microbiële activiteit kwantitatief en kwalitatief worden beïnvloed. De afbraaksnelheid van de gebruikte bestanddelen is bepalend voor de te verwachten microbiële activiteit en wordt ingeschat door het bepalen van de C:N verhouding, en door het meten van de microbiële afbraak onder laboratoriumcondities (OUR) en onder veldcondities (respiratietesten). De afbraaksnelheid en de totale microbiële activiteit zijn dus verweven maar dat geldt maar ten dele voor de weerbaarheid. De algemene weerbaarheid is gebaat bij een stabiele hoge activiteit van micro-organismen en bij een hoge diversiteit (Järvenpää e.a., 2021). Bij een lage activiteit/diversiteit kunnen ziekten te gemakkelijk ongestoord vermenigvuldigen. Bij een erg hoge activiteit/diversiteit (en bij snelle wisselingen in abiotische omstandigheden) zullen ziekten gemakkelijk het snelst een van de opeenvolgende voedingskansen benutten (Järvenpää e.a., 2021). De afbraaksnelheid van weerbare groeimedia kent dus een optimum, dat wil zeggen dat de afbraaksnelheid zowel te laag als te hoog kan zijn.

Daarnaast worden naast de algemene activiteit ook nog specifiekere activiteiten gemeten zoals enzymactiviteit o.a. chitinase, afbraak van cellulose en afbraak van lignine. Soms is het mogelijk de omzetting van verbinding A naar verbinding B te meten door A en B door de tijd te volgen (bijvoorbeeld de omzetting van NH₄ naar NO₃) maar dat kan alleen als A en B meetbaar zijn zonder verwarring met andere bronnen van A en B.

Bekend is dat composten met een C:N verhouding rond de 20 landbouwkundig geprefereerd worden. Een C:N verhouding onder de 10 duidt op een te vers medum. Als dit verse medum in een bodem gebracht wordt, zal er een snelle afbraak volgen waarbij de temperatuur snel oploopt, veel voedingsstoffen tegelijk vrijkomen, en plantgiftige verteringsstoffen kunnen vrijkomen. Dit geldt ook bij het gebruik van te vers

materiaal in groeimedia. Een ermee samenhangend effect op de microbiologie is dat de snelle afbraak van delen organische stof ervoor zorgt dat er een explosie van elkaar snel opvolgende soorten micro-organismen optreedt. Hierbij zijn er meer kansen voor ziekten. Bedenk hierbij dat een compost met een lage C:N verhouding ongeschikt kan zijn als groeimedium, maar wel (juist) heel geschikt kan zijn als organische meststof, inclusief een weerbaarheidsverhogende werking bij verstandige dosering.

In de vollegrond geldt dat bij een C:N verhouding boven de 30, de voedingsstoffen te langzaam vrijkomen voor een gewas. Dit is niet relevant voor teeltsystemen met groeimedia, omdat de aanvoer van voedingsstoffen hierbij sowieso niet uit het groeimedium komt. Wat wel relevant is, dat bij afbraak van materiaal met een hoge C:N verhouding de micro-organismen relatief veel stikstof op slaan in hun cellen. Omdat ze effectiever concurreren dan planten, gaat dit ten koste van de plantengroei. Deze stikstofimmobilisatie moet vooraf bekend zijn zodat aanvullend bemest kan worden.

Voor groeimedia is het van belang dat de structuur van het groeimedium gedurende een teelt in stand blijft. Dat betekent dat het materiaal zijn oorspronkelijke volume moet houden (de structuur mag niet instorten) en ook dat kleine afbraakdeeltjes niet onder in het groeimedium mogen ophopen waardoor een zuurstofarme laag zou ontstaan. Er wordt voor groeimedia vanwege stabiliteit en stikstofvastlegging gezocht naar materialen met een C:N verhouding >20 en een lage afbraaksnelheid. De afbraaksnelheid wordt gecontroleerd met een aparte meetmethode, de OUR-meting, die waarden lager dan 12 moet tonen (mmol zuurstof per kg droge organische stof per uur). De eisen voor stabiliteit wegen zwaarder voor teelten die een jaar of langer duren dan voor teelten die na 3 maanden al eindigen.

Criterium⁰: Voor materialen gebruikt in groeimedia geldt $C:N > 20$.

Criterium¹: Voor groeimedia in teelten tot 3 maanden (maar geen opkweek) geldt tot maximaal 20%v/v materiaal met een C:N 10-20. Voor de opkweek kunnen minder stabiele materialen gebruikt worden omdat de teeltperiode zo kort is, mits het verschil met het teeltmateriaal niet te groot wordt.

Criterium²: Voor materialen gebruikt in groeimedia voor teelten >9 maanden geldt $OUR < 6$. Voor teelten van 3-6 maanden: $OUR < 12$.

- E. **De gebruikte meststoffen.** Kunstmeststoffen vervangen voor een plant tot op grote hoogte de interactie met micro-organismen. Dat betekent dat de plant bij gebruik van kunstmeststoffen veel minder reden heeft te investeren in interactie met micro-organismen. De hoeveelheid en kwaliteit van exudatie neemt dan af, en het aantal verbindingen met bijvoorbeeld mycorrhiza's wordt vrijwel nul (terwijl mycorrhiza's algemeen zijn in met een beperkte hoeveelheid organische mest bemeste systemen, met daarin niet op kunstmest veredelde planten).

Het is bekend dat de aard van het basismateriaal van een organische meststof, onder andere de N, P en S gehalten, de samenstelling en activiteit van de zich ontwikkelende microbiële gemeenschap sterk beïnvloedt (van Staalduijn 2020; Grunert e.a., 2019; Liu e.a., 2017). Door de organische meststofbestanddelen zorgvuldig te kiezen, kan de microbiële activiteit dus kwantitatief en kwalitatief worden beïnvloed. Dit betekent dat een omschakeling van kunstmeststoffen naar organische meststoffen wenselijk is voor zowel een circulaire economie als voor ziekte-onderdrukkende teeltsystemen, mits juist gekozen.

De invloed op de microbiële activiteit door het aanbieden van voeding met organische mest, ligt met ongeveer 500 mg/d in de orde van grootte van de invloed van groeimedia en de plant (Tabel 10). Dit is sterk afhankelijk van de gebruikte organische stof en de gehalten aan voedingsstoffen daarin (Box 6). Ook de frequentie van toedienen en de manier van verspreiden/toedienen is van invloed op waar en hoe de microbiële activiteit zich ontplooit.

Box 6: Voorbeeldberekening van de ordegrrootte van de invloed van een organische meststof

Een vruchtgroentegewas neemt 800 L/m²/j voedingsoplossing op, met een opname EC van 2.2, waarin 10 mmol/L nitraat. De stikstofopname is daarmee ongeveer $800 \times 10 = 8000$ mmol/m²/j. In een rijke compost zit aan stikstof ongeveer 700 mol/ton-DS. Het C-gehalte is ongeveer 14000 mol/ton en de C:N is daarmee ongeveer 17 (in g/g). Om in de stikstofvraag te voorzien is dus $80000/700 = 114$ ton-DS compost/ha/j nodig. Dat is 11 kg/m²/j compost-DS. In versgewicht zal dat 20-30 kg worden met een volume van 40-60 L. De jaarlijkse aanvoer van koolstof is dan 11×14 mol/m², per dag ongeveer $154000/360 = 430$ mmol/m²/d. Dat is 5130 mg/m²/d aan koolstof dat ter beschikking komt aan micro-organismen. Dit is al te veel voor een veilige microbiële activiteit en illustreert dat overschakelen op organische meststoffen met beleid dient te gebeuren en sterk afhangt van de gekozen organische meststoffen.

Criterium¹³: De verteringssnelheid van een meststof wordt vooraf bepaald in een test voor maximaal te verwachten (potentiële) verteringssnelheid. Dit zou een - variant van de - OUR-methode kunnen zijn.

Criterium¹⁴: De bij de afbraak van de beoogde organische meststof betrokken functionele groepen worden of zijn geïdentificeerd in een standaardtest. De wenselijkheid van een functionele groep moet natuurlijk bekend zijn (criterium 3).

Criterium¹⁵: De gewenste toedieningsfrequentie en manier van verdelen van de organische meststoffen zijn uitgerekend en technisch mogelijk gemaakt. Het teeltsysteem en de te gebruiken typen meststoffen zijn dus op elkaar afgestemd om een over het teeltseizoen gewenste microbiële activiteit te handhaven.

Criterium¹⁶: De verteringssnelheid van alle gebruikte meststoffen, de plant(exudatie), het groeimedium en alle eventueel gebruikte organische toevoegingen wordt beoordeeld met het oog op de te verwachten microbiële activiteit.

Criterium¹⁷: De invloed van de abiotische factoren (minstens temperatuur, watergehalte, luchtgehalte en zuurgraad) op de microbiële activiteit wordt meegewogen per gewenste functionele groep. Om overzicht te houden is een model nodig, en kennis per functionele groep van de invloed van abiotische factoren op de activiteit van de functionele groepen.

- F. **Niet-microbiële biostimulanten.** Het is bekend dat de aard van het basismateriaal van een organisch additief de samenstelling en activiteit van zeer specifieke groepen binnen de microbiële gemeenschap sterk beïnvloedt (Montagne e.a., 2016, 2017). Door geselecteerde organische verbindingen toe te voegen, kan de microbiële activiteit dus kwalitatief worden beïnvloed. Om het wortelstelsel gelijkmatig en voorspelbaar te beïnvloeden, is het gewenst een organische toevoeging gelijkmatig en snel door het wortelvolumen te verspreiden. Dit betekent dat er speciale interesse is in verbindingen die regelmatig via druppelirrigatiesystemen kunnen worden geleverd in plaats van in vaste vorm.

Criteria: Ook hier gelden dezelfde criteria 14-17, die bij de organische meststoffen staan uitgeschreven. In de overzichtstabel, Tabel 11, staan kruisjes bij zowel groeimediabestanddelen als organische meststoffen als niet-microbiële biostimulanten.

- G. **Systeem feedback.** Om de werking van het teeltsysteem te kennen en te kunnen volgen is informatie nodig. Een goed microbiel systeem kan behoorlijk stabiel zijn, waardoor weinig behoefte is aan controlemetingen, maar voor onderzoek en ingrijpen bij afwijkingen zijn metingen nodig van:
- Aanvoer van organische stof in vergelijkbare eenheden over de teeltperiode.
 - Controlemetingen op de abiotische factoren die de snelheid van de verwachte omzettingen beïnvloeden, ten minste temperatuur, watergehalte/luchtgehalte en zuurgraad.
 - Controlemetingen op de verwachte niveaus van omzettingsproducten, bijvoorbeeld niveau van TOC en van ammonium, nitriet en nitraat.
 - Controlemetingen van de activiteit van de beoogde functionele groepen. Dit is nu nog tijdrovend en relatief duur, maar zal steeds meer gemeengoed worden bij de verwachte ontwikkelingen van commerciële innovaties.
 - Vergelijken van gemeten waarden met gemodelleerde, verwachte waarden. Een vorm van model is nodig omdat het niveau van omzettingsproducten door veel factoren tegelijk wordt beïnvloed. Een voorbeeld: als een onverwachte ophoping van ammonium gevonden wordt, kan dat het gevolg zijn van een veranderingen in de soort aangevoerde organische stof, en/of een hogere aanvoer van organische stof en/of veranderingen van temperatuur, watergehalte en zuurgraad.

Criterium¹⁸: Controlemetingen in het wortelmilieu op abiotische factoren temperatuur, watergehalte (en daarmee indirect luchtgehalte) en zuurgraad.

Criterium¹⁹: Controlemetingen op omzettingsproducten die vrijkomen bij de activiteit van een functionele groep, zoals oplosbare koolstof (TOC).

Criterium²⁰: Controlemetingen van de activiteit van functionele groepen.

Criterium²¹: Vergelijken gemeten met gemodelleerde activiteiten / waarden.

Niet onder de criteria genoemde invloeden op de weerbaarheid

De rol van koolstof zoals hierboven beschreven is niet de enige manier waarop organische stof de microbiële activiteit bepaald: afhankelijk van de omstandigheden kunnen andere elementen en verbindingen bepalend zijn voor de kwaliteit van de microbiële populatie in de wortelomgeving. Zonder uitputtend te willen zijn noemen we hier:

1. Stikstof. In de niet-overbemeste natuur is stikstof vaak bepalend voor de microbiële activiteit en de plantenactiviteit. In groeimedia is tot nu toe steeds gestuurd op een overmaat aan ammonium en meer nog nitraat in de wortelomgeving. Zodra dit als uitgangspunt wordt losgelaten (dus ook als meer gebruik gemaakt gaat worden van organische meststoffen) ontstaat een situatie waarbij met stikstofhoudende groeiediabestanddelen sterke invloed op de soorten en activiteiten van het microbioom kan worden uitgeoefend. Hierbij moet worden gebalanceerd op de rand van voldoende aanbod om de opbrengsten hoog te houden. In de fase van snelle uitgroei is veel stikstof nodig maar bij een voldoende bladoppervlak mag de stikstofbemesting daarna veel lager zijn dan nu gebruikelijk (Blok e.a., 2017).
2. Fosfaat. Ook fosfaat is in de natuur vaak groeibeperkend. Helaas is fosfaat in moderne landbouwsystemen vaak in overmaat aanwezig. Wel laat de beschikbaarheid voor de plant soms te wensen over. Zodra (een deel van) het fosfaat wordt aangeboden via organische verbindingen, zal ook hierdoor een grote verschuiving en toename van de microbiële activiteit te verwachten zijn (gemeten als toename in fosfaatbeschikbaarheid bijvoorbeeld, niet zo zeer als respiratie of zuurstofconsumptie).
3. Micro-elementen. Tot nu toe zijn alleen die micro-elementen toegevoegd die voor de groei van de plant van belang waren. In uitzonderlijke situaties zijn elementen toegevoegd die voor de menselijke gezondheid een rol spelen (zoals F, Br, Se en I). Als het microbioom gevoed moet worden, is het van belang ook daarvoor elementen toe te dienen. Uit de wereld van bioreactoren is bekend dat het gaat om Ni, Co, Tu, (Jiang, 2006, gemeten in mestvergisters), maar ook V en Se (Brock, 2019). Dit naast de al bekende sporenelementen voor plantengroei, Fe, Mn, Zn, Co, B en Mo.
4. Stimulatie van functionele groepen anders dan de hier al genoemde. Bekend is dat de vorm waarin organische stof aangeboden wordt, grote invloed heeft. Bekende groepen organische verbindingen met een verschil in invloed op het microbioom zijn lignine, cellulose, hemicellulose. Een bekend voorbeeld betreft ook de omzetting van chitine. Bij de omzetting van deze vertakte organische verbinding worden soorten die chitinase kunnen aanmaken gestimuleerd. Juist deze functionele groep heeft een onderdrukkend effect op plantpathogene schimmels als *Fusarium* (Montagne e.a., 2016 en 2017).
5. Snel verteerbare organische verbindingen als opgeloste organische zuren, suikers en aminozuren geven een enorme toename in bacteriële activiteit maar hebben een halfwaardetijd van enkele uren tot minder dan een uur. Hierdoor zijn dit soort verbindingen minder geschikt om langdurig de microbiële activiteit te beïnvloeden.
6. Een onderwerp waarop hier niet wordt ingegaan is de recente discussie over de betekenis van eDNA (inclusief relic DNA). Dit zijn resten van DNA die aanwezig zijn in het wortelmilieu en die mogelijk functioneren als signaalstof van plant naar plant en plant naar microben (Chisano e.a., 2020).

3.2.4 Samenvatting Criteria en beoordelen van maatregelen

In Tabel 11 volgt een samenvatting van de criteria waarmee we beoordelen welke maatregelen van belang kunnen zijn voor het verhogen van de weerbaarheid van de geïnventariseerde groeimedia. Om in het oog te houden dat de criteria zijn opgesteld voor het hele teeltsysteem, dus inclusief het groeimedium maar breder dan het groeimedium alleen, wordt achter de criteria aangegeven voor welke van de vier onderdelen van teeltsystemen ze relevant zijn. Die teeltsysteemonderdelen bepalen de dagelijkse vrijkomende koolstofstroom in de wortelomgeving en zijn de plant, het groeimedium, de (organische)meststof en de niet-microbiële biostimulanten.

Tabel 11

Overzicht van de criteria die een rol spelen bij het kiezen van groeimedia gebaseerde teeltsystemen met hoge microbiële activiteit en met een ziekte-onderdrukkend karakter. Voor de plant, het groeimedium, de organische meststof en andere organische toedieningen in de wortelomgeving is met een "x" aangegeven wanneer een criterium relevant is.

Nr	Criterium (kort)	Plant	Groei-medium	Meststof	Toe-diening*
1	Getalsmatig beschrijven van het teeltsysteem.	x	x	x	x
2	Metten van het functionele microbioom in een standaardtest (omzetting en omzettingssnelheid)	x	x	x	x
3	Vaststellen van een gewenst functioneel microbioom (omzetting en omzettingssnelheid)	x	x	x	x
4	Kennis van de invloed op functionele activiteit van abiotische factoren en de aanvoer van organische stoffen	x	x	x	x
5	Identificeren van endemische ziekten in een teeltsysteem	x	x	x	x
6	Geen groeimedium aanbevelen voor endemisch zieke systemen		x		
7	Opkweek- en doorteelt- systemen op elkaar afstemmen		x	x	x
8	Exudatie snelheid plant gestandaardiseerd bepaald	x			
9	Functionele groepen (ad10) identificeren	x			
10	Groeimediabestanddelen C:N>20		x		
11	Groeimedia in teelten tot 3 maanden C:N 10-20		x		
12	Groeimedia teelten >9 maanden OUR<6. 3-6 maanden OUR<12		x		
13	De verteringssnelheid wordt vooraf bepaald		x	x	x
14	Functionele groepen (ad12) identificeren		x	x	x
15	Gewenste toedieningsfrequentie en manier van verdelen bepalen		x	x	x
16	De verteringssnelheid van alle teeltsysteem tegelijk	x	x	x	x
17	De invloed abiotische factoren per functionele groep	x	x	x	x
18	Controlemetingen op abiotische factoren	x	x	x	x
19	Controlemetingen op C, eventueel andere stoffen		x	x	x
20	Controlemetingen activiteit functionele groepen	x	x	x	x
21	Vergelijken gemeten met gemodelleerde activiteiten / waarden	x	x	x	x

*Toevoeging staat voor organische verbindingen met invloed op de microbiële activiteit (o.a. niet-microbiële biostimulanten).

3.3 Aanvullende maatregelen die de weerbaarheid verhogen van de geïnventariseerde groeimedia

In dit rapport zijn groeimedia als weerbaarheidsfactor in een breder kader geplaatst, om te voorkomen dat groeimediatoepassingen door een verkeerde combinatie van andere factoren niet tot de gewenste resultaten leiden. Dit rapport omvat alle typen bedekte teelten en alle maatregelen die de weerbaarheid van een groeimedium en indirect een gewas kunnen verhogen, zoals aanpassen organische stofgehalte, structuur van groeimedium, temperatuur, toevoegen biostimulanten, en dergelijke. Hierna wordt aangegeven hoe vanuit dit bredere kader al praktische toepassingen te maken zijn, zelfs al ontbreekt nog veel detailkennis.

Box 7: Voorbeeld van toepassen van nu al bekende kennis

Om lezers met een technische achtergrond een beter idee te geven van de werkbare kennis volgt een voorbeeld. Deze beperkte algemene toepassing is uitvoerbaar voor telers, mits de op zich al beschikbare kennis in een voor telers bruikbare vorm beschikbaar gemaakt wordt:

1. Uitgaande van de dagelijkse koolstofaanvoer als motor van de algemene microbiële activiteit, kan geschat worden dat een veilige streefwaarde voor de aanvoer tussen de 1000-2000 mg/m²/d moet liggen. Iets hogere waarden zijn misschien mogelijk maar de ervaring met onstabiele groeimmedia en hoge aanvoer van weinig verteerde organische mest laat zien dat tussen de 2000-10000 mg/m²/d de ziektegevoeligheid sterk toeneemt. Bij lagere waarden lager dan 1000 mg/m²/d neemt de algemene activiteit af in combinatie met de diversiteit. Hierdoor neemt de kans op een snelle toename van ziektedruk toe.
2. Het is belangrijk dat het vrijkomen van de koolstof geleidelijk gebeurt. Dat betekent dat zowel de aard van de gebruikte organische stoffen een rol speelt als de manier van toedienen (dit geldt voor zowel organische meststoffen als organische toedieningen).
 - Er is dus een voorkeur voor langzaam afbrekende organische verbindingen, of een vooraf berekende mix van stoffen met verschillende afbraaksnelheid. Snel afbrekende stoffen kunnen door persen, coaten of impregneren worden veranderd in vertraagd vrijkomende stoffen. De keuze van zowel organische meststoffen als niet-microbiële toevoegingen is enorm groot. Met deskundige hulp is per bron uit te rekenen hoeveel koolstof vrijkomt en over welke periode dat gebeurt.
 - De aanvoer kan beter niet eenmalig zijn, maar zo frequent en rustig mogelijk. Er is dus een voorkeur voor aanvoer via druppelleidingen (frequente aanvoer van kleine hoeveelheden). Bij toedienen van vaste organische stoffen geeft een sproeidop boven de plek van toedienen een extra mogelijkheid de snelheid van verteren te regelen (dit wordt op kleine schaal al toegepast).
 - De microbiële afbraaksnelheid van de organische stoffen varieert sterk met temperatuur, watergehalte en zuurgraad. Deze worden dus zo stabiel mogelijk gehouden. Bij schommelingen kan gecompenseerd worden door aanpassen van temperatuur, watergehalte en zuurgraad maar ook door de aanvoer van koolstof te verhogen of verlagen. De temperatuur is bekend uit gewasonderzoek (meestal 20-25 °C); het watergehalte hangt af van het groeimedium (meestal 40-60%v/v met daarbij minstens 20%v/v luchtgevulde poriën); de zuurgraad verschilt per groep micro-organismen maar moet gemiddeld boven de 6.0 liggen en onder de 7.0 (vanwege problemen met bicarbonaat en vervluchtiging van ammonia bij hogere pH-waarden).

Bovenstaande laat zien dat met de huidige kennis telers nu al middelen hebben de microbiële activiteit technisch grofweg te beheersen. Wat ontbreekt zijn feedbackmetingen om te maatregelen te finetunen en validaties waarmee specifieke kennis over gewassen, teeltsystemen en micro-organismen opgebouwd kan worden.

3.3.1 Mogelijkheden binnen het bereik van de teler

De plant

Allereerst, en enigszins los van het onderwerp van deze inventarisatie, zal de teler voor de weerbaarheid moeten kiezen voor een ras dat resistent is voor een aantal ziekten en plagen. Daarnaast, en binnen het onderwerp van deze inventarisatie, heeft de keuze van de plantensoort, en binnen de soort voor een variëteit, invloed op de hoeveelheid en het soort exudatie van de plant. Met exudaten stuurt de plant de wortelomgeving, inclusief de weerbaarheid van de wortelomgeving. Het ontbreekt de teler in grote lijnen nog aan informatie over de exudatie kwantiteit en kwaliteit van de geteelde planten. Enkele veredelaars hebben oriënterend onderzocht welke planten/variëteiten méér exuderen dan andere, maar er is nog geen sprake van veredeling gericht op geïdentificeerde exudaten. Aanknopingspunten zijn:

- De veredeling heeft nog niet alle mogelijkheden gebruikt om te veredelen op exudatie of de invloed van de plant op de weerbaarheid van de wortelomgeving. Een eerste stap kan zijn de informatie over de hoeveelheid exudatie op een uniforme manier bij het product (de plant) te leveren. Hierbij hoeft nog geen kennis te bestaan over specifieke weerbaarheidsverhogende invloed van de exudaten. Volstaan wordt met het verhogen van de algehele microbiële activiteit en diversiteit.

- De plant reageert op de wortelomgeving door exudatie, maar ook door het maken van secundaire metabolieten die een rol spelen bij het onderdrukken van ziekten. Recent zijn er stappen voorwaarts gemaakt met het koppelen van secundaire metabolieten aan rassen en variëteiten (Mouden e.a., 2021; Escobar-Bravo e.a., 2019). De techniek bestaat uit het koppelen van secundaire metabolieten (meetbaar door NMR-analyse) aan weerbaarheid tegen ziekten (in proeven met toegevoegde ziekten). Op deze manier wordt een groot aantal rassen en variëteiten gescreend waarna de kennis over gevoeligheid voor ziekten wordt gecorreleerd met de secundaire metabolieten. Zo werden al nieuwe metabolieten geïdentificeerd waarvan in vervolgtesten enkele rassen/variëteiten ziekte-onderdrukkend bleken. Rassen en variëteiten met meer van de effectieve metabolieten worden aanbevolen aan telers en veredelaars kunnen hiermee gericht veredelen. Nog onbekend is in hoeverre het microbiom in de wortelomgeving in staat is de plant te informeren over ziektedruk en de plant aan kan zetten tot het aanmaken van weerbaarheidsverhogende secundaire metabolieten. Een eerste stap kan zijn de al bestaande NMR-screening van secundaire metabolieten te combineren met analyses van het microbiom (onderzoek in uitvoering, Mouden).

Het groeimedium

Een teler kan al kiezen voor organische groeimedia die voldoen aan eisen voor een maximale EC en pH, een maximale afbreeksnelheid en een minimale C:N verhouding. In grote lijnen betekent dit dat kokosgruis ongelimiteerd, houtvezel tot maximaal 50%v/v en composten tot maximaal 25%v/v gebruikt kunnen worden. Een keuze voor organische groeimedia ondersteunt een hogere microbiële activiteit. Wat de teler nu nog mist is informatie over welk niveau van microbiële activiteit wenselijk is, welke activiteit bij gebruik van een groeimedium verwacht mag worden in zijn omstandigheden en hoe de activiteit in het veld gecontroleerd kan worden. Aanknopingspunten zijn:

- De kwaliteit van de organische stof. Tot nu toe wordt organische stof gebruikt als term voor een groot aantal totaal verschillende organische materialen. Mogelijke metingen aan het eindproduct zijn droog bulk gewicht, EC, pH, totaal analyse, stikstof immobilisatie, C:N verhouding, heet water uitspoelbare koolstof, afbreekbaarheid en bufferwaarde, maar dit pakket ontbreekt vaak in beschrijvingen van onderzoek.
 - Er is behoefte aan een gestandaardiseerde manier om organische stof te beschrijven, gericht op het voorspellen wanneer groeimedia betrouwbaar tot dezelfde microbiologische activiteit leiden. De methode gebruikt om Tabel 10 te maken is één van de mogelijkheden om groeimedia in te delen, gebaseerd op een te meten grootte (in dit geval hoeveelheid koolstof die per m² per dag vrijkomt in een bepaald teeltsysteem).
- Het inzichtelijk maken van de invloed van abiotische factoren op de microbiële activiteit. Van zuurstofgehalte, watergehalte, zuurgraad en temperatuur is bekend dat ze, per genoemde parameter, een invloed van meer dan een factor 10 kunnen hebben op de activiteit van microbiële groepen. Gecombineerd kunnen ze een verschil in microbiële activiteit van 100-1000 verklaren. Telers kunnen deze factoren nu al met bestaande hulpmiddelen meten en aanpassen. De registratie door telers is eenvoudig en soms al geautomatiseerd. Ondanks al deze mogelijkheden wordt hier door telers in de praktijk geen gebruik van gemaakt. Om deze mogelijkheden te benutten hebben telers behoefte aan modellen die de invloed van de gecombineerde abiotische factoren op microbiële activiteit aangeven en die tegelijk laten zien met welke aanpassingen van abiotische factoren de activiteit optimaal gehouden kan worden.
- Verbeteren van snelle microbiële analyses. De microbiële analyses in onderzoek zijn nog te tijdrovend en duur voor routinetoepassing door telers en potgrondbedrijven. Als het al gebeurt, gaat het om incidentele waarnemingen die nog geen inzicht geven in het verloop in de tijd. Door het ontwikkelen van monitoringmodellen krijgen telers en potgrondbedrijven een voortdurende schatting van de te verwachten activiteit, terwijl met de metingen het model dicht bij de werkelijkheid gehouden kan worden. Ook kunnen goedkope en snelle metingen als bijvoorbeeld koolstofgehalte (TOC) en ammonium en nitraatgehalte als feedback gebruikt worden. Op deze manier zijn de duurdere microbiële analyses minder vaak nodig en minder dringend nodig. Uiteraard blijft het nuttig te streven naar betere en snellere microbiële analyses.

- Het opstellen van gewenste microbiom profielen. Telers kunnen met enige moeite nog wel een beeld krijgen van het microbiom van hun groeimedium, maar daarmee weten ze nog niet wat een wenselijk microbiom voor hun bedrijf is. Er circuleren bij de wetenschap wel ideeën over welke functionele groepen nuttig zijn in een microbiom, maar dit heeft nog niet geleid tot het formuleren van een totaal gewenst microbiomprofiel. Daardoor wordt er soms gestreefd naar het stimuleren van één bepaalde functionele groep, zonder dat zeker is dat dit niet ten koste gaat van de overige microbiële activiteiten.

De meststof

De teler heeft bij het gebruik van organische meststoffen vrij veel en ook krachtige mogelijkheden om de weerbaarheid van de wortelomgeving te verhogen. Bij gebruik van kunstmest verarmt het microbiom ingrijpend. Met name functionele groepen die stikstof en fosfaat vrijmaken en naar de plant transporteren, verdwijnen praktisch volledig als de plant in overmaat kan beschikken over kunstmest zoals gebruikelijk in teeltsystemen met groeimedia (die wettelijk verplicht nutriënten in drainwater recirculeren). Bij gebruik van organische meststoffen wordt de activiteit van een teeltsysteem al snel hoger. Gebaseerd op Tabel 10 en een koolstofbijdrage van alleen vaste organische meststof van 2000 mg/m²/d mag ruwweg verwacht worden dat in een organisch groeimedium de activiteit 3-4 keer hoger wordt. Dit betreft in ieder geval groepen die cellulose kunnen afbreken, terwijl de activiteit van groepen die N, P, en S vrijmaken nog veel sterker zal toenemen. Een voordeel van organische meststoffen is dat de aanvoer gespreid over het hele teeltseizoen plaats moet vinden, waardoor de werking gelijkmatiger wordt. Een ander voordeel is, dat er een aanbod is van sterk verschillende en vrij strak gedefinieerde organische meststoffen, waardoor weerbaarheidseffecten instelbaar en mogelijk stuurbaar zijn. De teler heeft met organische meststoffen nu al invloed door:

- De soort meststof: Het ontbreekt de teler in grote lijnen nog aan informatie over de hoeveelheid koolstof die per tijdseenheid vrijkomt uit de toegepaste meststof. Een eerste stap kan zijn dat de leveranciers van organische meststoffen de informatie over de snelheid van vrijkomen (ook van de koolstof) op een uniforme manier bij het product gaan leveren. Ook over stikstof, zwavel en fosfaat ontbreekt, in de glastuinbouw, informatie over de snelheid waarmee deze vrijkomen, waardoor het bewust toepassen van deze mogelijkheden om de microbiologie te sturen nog niet binnen het bereik van de teler liggen. Eén manier om deze informatie te verbeteren is het aanpassen van de Nederlandse (toonaangevende) bemestingsadviessystemen, die nu op chemische niet lineaire meststoffen zijn gebaseerd.
- Frequentie: hoe vaak wordt toegediend. Frequent een kleinere hoeveelheid toedienen lijkt aan te bevelen om grote schommelingen in microbiële activiteiten en samenstelling van het microbiom te voorkomen. Tot nu toe ontbreekt het aan richtinggevend praktijkonderzoek naar dit onderwerp.
- Plaats: of een meststof boven op een groeimedium wordt geplaatst, of er doorheen gewerkt wordt, maakt veel uit voor de ruimtelijke verdeling van activiteit en samenstelling van het microbiom in een wortelomgeving. Tot nu toe ontbreekt het aan richtinggevend praktijkonderzoek naar dit onderwerp.
- Watergeefstelsysteem: worden afbraakproducten door een waterstroom gelijkmatig verdeeld over de wortelomgeving (bepaald door de positie van de meststof ten opzichte van waterafgiftepunten), worden de afbraakproducten in één zone geconcentreerd (eb en vloed systemen) of is de verplaatsing door water beperkt (sommige druppelsystemen). Tot nu toe ontbreekt het aan richtinggevend praktijkonderzoek naar dit onderwerp.
- Regelen abiotische factoren. Constant houden van de abiotische factoren. Schommelingen in watergehalte, zuurgraad en temperatuur zijn vaak te voorkomen als er gestructureerd op gelet wordt (monitoring). Dit onderwerp is bij het kopje "Groeimedium" al behandeld.

De teler beschikt met organische mest dus al over vrij veel stuurmogelijkheden maar het ontbreekt de teler nog aan kennis die stuurmogelijkheden gericht in te zetten. Dit type kennis kan potentieel dus snel tot praktische en effectieve verbeteringen leiden.

Box 8: Uitleg van risico's van organische meststoffen

Deze inventarisatie is geen pleidooi voor organische meststoffen. Organische meststoffen bieden veel mogelijkheden maar uit het verleden zijn ook problemen bekend. Bij hoge doseringen zullen nuttige micro-organismen zoals mycorrhiza's sterk in aantal afnemen. Bij hoge afbreekbaarheid (of te grote doseringen ineens) kan er zoveel koolstof vrij komen in het systeem, dat een snelle opeenvolging van soorten start waarbij de kans op ziekten sterk toeneemt. Gebaseerd op ervaringen met composten, valt te verwachten dat de kans op ziekten ergens tussen de 2000 en 10000 mg koolstof/m²/d sterk toeneemt. Er is hierbij ruimte voor hybride systemen van chemische en organische meststoffen; van door impregnatie of coating stabielere gemaakte organische mest; van vaste organische meststoffen onder een aparte sproeileiding gecombineerd met druppelirrigatie; etc. Bovendien kan in een systeem met chemische meststoffen, door regelmatig niet-microbiële biostimulanten te doseren, ook een gewenst stabiel en divers microbioom in stand gehouden worden.

Microbiële en niet-microbiële biostimulanten en gewasbeschermingsmiddelen

In deze paragraaf worden in de markt gebruikte middelen genoemd. Afhankelijk van hun samenstelling en claim kunnen ze ingedeeld worden als gewasbeschermingsmiddel of als biostimulant (zie de discussie in Box 2). Telers kunnen gebruik maken van organische toevoegingen die specifieke groepen van micro-organismen, aanwezig in het groeimedium, kunnen activeren en daardoor weerbaarheid tegen abiotische stress of biotische stress zoals bepaalde ziekten verhogen. Voorbeelden van dit soort toevoegingen zijn:

- Chitine (Fuchs e.a., 2017; Andreo-Jimenez e.a., 2020).
- Composten (Antoniou e.a., 2017; Blaya e.a., 2016; Pascual e.a., 2018).
- Champost (Montanari e.a., 2004; Andreo-Jimenez e.a., 2020; Streminska e.a., 2020).
- Biochar (Jaiswal *et al.* 2014; Bonanomi e.a., 2021).
- Keratine (Andreo-Jimenez e.a., 2020).

Van al de bovenstaande toevoegingen zijn ook voedingseffecten op de plant bekend.

Bewezen effecten op de plant maar zonder informatie over het microbioom zijn gerapporteerd voor:

- Compostextracten.
- Algenextracten.
- Humaten.
- Vinasse.
- Amino-zuren.

Andere optie is om micro-organismen die antagonistisch zijn tegen plantpathogenen, toe te voegen aan het groeimedium. Deze micro-organismen moeten in de Europese Unie een toelating hebben als gewasbeschermingsmiddel. Voor een uitgebreide lijst van in EU beschikbare microbiële pesticiden zie van Lenteren e.a., 2018.

- In al deze gevallen geldt dat de teler bij gebruik van de middelen alleen kwalitatief, niet kwantitatief, weet wat het effect op de weerbaarheid van het wortelmilieu moet zijn. Voor de beheersbaarheid en controle is dringend behoefte aan het vooraf vaststellen van een meetbaar doel. Om dat te doen zal er overeenstemming moeten komen over een gestandaardiseerde veldproef waarmee dit soort middelen getest kunnen worden.

Voor het toedienen van biostimulanten en/of gewasbeschermingsmiddelen op basis van micro-organismen beschikt een teler weer over ongeveer dezelfde technische mogelijkheden om het effect te beïnvloeden als bij meststoffen. Bij toepassing van gewasbeschermingsmiddelen moet de teler dan wel rekening houden met het Wettelijk Gebruiksvoorschrift van desbetreffend middel:

- Frequentie: hoe vaak wordt toegediend. Frequent een kleinere hoeveelheid toedienen lijkt aan te bevelen om schommelingen in microbiële activiteiten en samenstelling van het microbioom te voorkomen. Hierbij geldt bijna altijd dat het aanhouden van een biologische buffering, dus een stabiele algemene activiteit en een hoge diversiteit, een betere werking heeft. Deze aanpak is dus sterk preventief in tegenstelling tot veel curatief ingezette chemische gewasbeschermingsmiddelen.

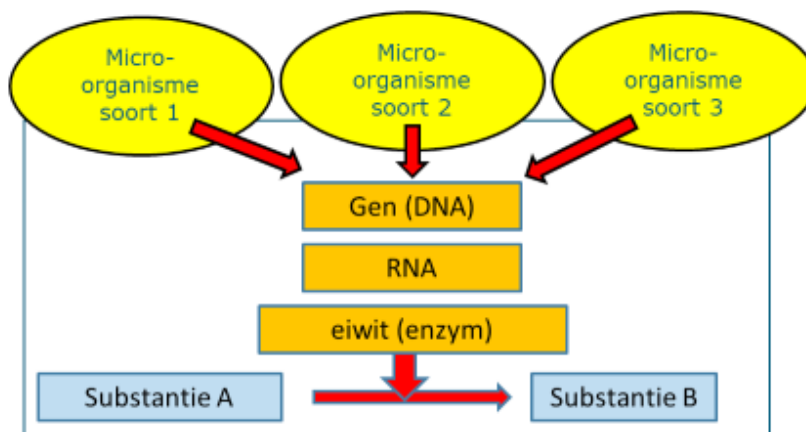
- Plaats: of een biostimulant en/of gewasbeschermingsmiddel boven op een groeimedium wordt geplaatst, of er doorheen gewerkt wordt, maakt veel uit voor het ontstaan of voorkomen van verschillen in activiteit en samenstelling van het microbioom in een wortelomgeving. Doorwerken is meestal beter.
- Watergeefstelsysteem: wordt de biostimulant of het gewasbeschermingsmiddel door een waterstroom gelijkmatig verdeeld over de wortelomgeving (bepaald door de positie van de biostimulant of het gewasbeschermingsmiddel ten opzichte van waterafgiftepunten), worden de afbraakproducten in één zone geconcentreerd (eb en vloed systemen) of is de verplaatsing door water beperkt (sommige druppelsystemen). Als de biostimulant of het gewasbeschermingsmiddel via een fertigatiesysteem gedoseerd kan worden, is de verdeling en toedieningsfrequentie veel beter te regelen dan wanneer het middel alleen vast aangebracht kan worden.
- Constant houden van de abiotische factoren. Schommelingen in watergehalte, zuurgraad en temperatuur zijn vaak te voorkomen als er gestructureerd op gelet wordt (monitoring).

Net als voor organische mest beschikt de teler met niet-microbiële biostimulanten en/of gewasbeschermingsmiddelen dus al over vrij veel stuurmogelijkheden maar ontbreekt het de teler nog aan kennis die stuurmogelijkheden gericht in te zetten. Dit type kennis kan potentieel dus snel tot praktische en effectieve verbeteringen leiden.

3.3.2 Conclusies gebruik maatregelen door telers

Bij het toepassen van bovenstaande maatregelen door telers is er een grote behoefte aan informatie over de effectiviteit. Omdat de microbiële activiteit, net als de voedingselementen, niet zichtbaar is, wordt er nu vaak in goed vertrouwen gehandeld zonder de zekerheid dat het gewenste effect bereikt wordt. Deze situatie kan verbeteren door:

- A. Betere metingen op het bedrijf (Figuur 1 in paragraaf 3.2.1). De bedoeling is te komen tot een meet- en regelkring voor het microbioom. Dit gaat om goedkope en snelle metingen, analoog aan voedingsmetingen; meten eens per 14 dagen, antwoord binnen 1-2 dagen en 50-100 Euro per analyse, waarbij één analyse overzicht geeft over de activiteit van de belangrijkste functionele groepen en een beoordeling met advies (geen actie, verhogen, verlagen).
- B. Beter monitoren van de abiotische factoren zuurgraad, watergehalte, zuurstofgehalte en temperatuur. De metingen zijn goedkoop en bekend, het ontbreekt nog aan gestructureerd verzamelen van de gegevens en het consequent sturen op basis van de gegevens (een model kan dit overzicht visueel vormgeven). Ook dit is een meet- en regelkring. Er is voldoende bekend over de waarden en hun betekenis voor de algemene microbiële activiteit en diversiteit. Algemene microbiële activiteit en diversiteit bepalen grotendeels de algemene weerbaarheid van een groeimedium (Järvenpää e.a., 2021). Wel ontbreekt kennis over de relatie tussen de waarden en de betekenis voor de specifieke weerbaarheid van een groeimedium tegen individuele ziekten en plagen.
- C. Betere en uniformere informatie bij onderzoeksmetingen (Sible e.a., 2021). Soms haken telers af bij de uitleg van onderzoekers. Verwarring bestaat over wat er gemeten wordt. Figuur 2 toont een voorbeeld van een gewenste omzetting waarbij er metingen mogelijk zijn van de betrokken micro-organismen, het betrokken DNA, RNA, de enzymen en de omzettingsproducten. Elk van de metingen geeft een ander beeld van wat er gebeurt en telers, toeleveranciers en onderzoekers hebben grote moeite de uitkomsten te duiden in termen die aangeven wat er in de teelt verwacht kan worden.
- D. Er bestaan nog geen standaard veldtesten die keer op keer dezelfde uitkomsten leveren en waarmee andere teelten zo nodig stapsgewijs vergeleken kunnen worden (Sible e.a., 2021). Dit soort testen is nodig om de discussie tussen telers en onderzoekers beter te voeren en om slecht begrepen factoren op te sporen en om gestructureerd goede praktijken verder te introduceren. Bij het opzetten van de testen moet het mogelijk zijn zowel de rol van groeiediabestanddelen als de rol van meststoffen, biostimulanten en/of gewasbeschermingsmiddelen en de plant te testen. Voorkomen moet worden dat een test maar één van deze vier factoren kan meten.



Figuur 2 Meting van een microbieel proces (door drie verschillende soorten micro-organisme) waarbij substantie A wordt omgezet in substantie B. Er kan gemeten worden hoeveel A verdwijnt; hoeveel B verschijnt; hoeveel enzym er is voor de omzetting A naar B; hoeveel RNA gemaakt is dat codeert voor het enzymeiwit; hoeveel genen er zijn die het juiste RNA kunnen maken. Hoe verder een meting van de reactie verwijderd is, hoe minder duidelijk de meting direct gecorreleerd is met de omzetting A naar B.

- E. Het in onderzoek vaststellen van de meest effectieve manieren om organische mest en niet-microbiële biostimulanten toe te dienen lijkt een snelle manier om de weerbaarheid van groeimmedia te verbeteren (Sible e.a., 2021). Dit omdat telers technisch vaak al in staat zijn zulke informatie te gebruiken.

3.3.3 Aanvullende overwegingen

Zoals eerder gemeld zitten composteerders gevangen in een systeem waarbij bij inname van de organische reststromen 5-10 keer zoveel verdiend wordt als bij verkoop van het eindproduct. Omdat de terreinopslagcapaciteit beperkend is voor de doorvoersnelheid, is het snel verwerken van de stroom organisch materiaal belangrijk. Hierdoor is de procesverbetering gericht op het snel verwerken en niet op het verhogen van de waarde van het eindproduct. Dit belemmert het maken van composten die als onderdeel van een groeimedium een constant en gewenst microbiom inbrengen.

Voor tuinbouwtoepassingen is het verwerken van een deel dierlijk materiaal door de compost nuttig om dat deel van het microbiom dat N, P en S vrijmaakt gericht op gang te brengen en houden.

4 Wittevlekkenanalyse

De uitgangsvraag was in welke mate er aandacht is voor groeimedia (anders dan bodem) in de huidige onderzoeks- en valorisatieprojecten? Deze vraag is niet beantwoord met het noemen van specifieke niet-genoemde groeimedia, omdat dit in tegenspraak zou zijn met de strekking van Hoofdstuk 3. Hoofdstuk 3 geeft een breder holistisch kader waarbinnen groeimedia bijdragen aan de weerbaarheid van een teeltsysteem. In dit hoofdstuk wordt aangegeven waardoor waarnemingen in specifieke onderzoeken niet te interpreteren zijn in het geschetste bredere kader. Een voorbeeld: stel chitine onderdrukt *Fusarium* in een proef bij veen/kokos in een verhouding 70/30%v/v. Dan is nog onbekend wat er gebeurt bij organische meststof (welke van de duizenden) i.p.v. chemische meststof; wat als de temperatuur, watergehalte, zuurgraad, zuurstofaanvoer anders zijn dan in deze proef; wat als een teler een ander watergeefstelsel gebruikt (bijvoorbeeld eb en vloed i.p.v. druppelaars) en wat als men teelt op houtvezel? Natuurlijk hoeft dat niet bij elke proef allemaal geoptimaliseerd te worden, maar de waarden/systemen moeten wel vermeld/beschreven zijn voor anderen om later de resultaten te kunnen herhalen. De herhaalbaarheid van proefresultaten met weerbaarheid is tot nu toe slecht, en daarom nemen telers liever niet het risico te vertrouwen op iets wat soms heel goed werkt.

4.1 Lopend publiek/privaat onderzoek (tot 2030)

Dit is een overzicht van relevant lopend en recent onderzoek. Steeds wordt aangegeven wat doel en aanpak waren en wordt besloten met het noemen van zaken die opvielen en buiten de scope zijn gebleven.

Titel	: PPS Circulaire Groeimedia
Projectleider:	: C. Blok
Looptijd:	: 2021-2023
Partners:	: 4 veenvervangers van elk in potentie >100.000 m ³ /jaar in praktijkproeven met 4 producenten en 3 potgrondbedrijven.
Doel:	: Ontwikkelen van nieuwe media: 1) compost /houtvezel mengsels waarbij het hout gewonnen is uit stromen groenafval (dus lokaal). 2) biochar uit hout; 3) biochar uit mestafval (alleen in bodems, niet in groeimedia) en hennepvezels als gebonden materiaal (steenwolvervanging). Globale aanpak: Verbeteren van de voorbereidingen en vaststellen van minimale kwaliteitseisen. Vervolgens proeven in onderzoekskassen en veldproeven bij telers met de nieuwe materialen. Enkele herhalingen om de kwaliteit bij te stellen.
Buiten de scope (maar potentieel waardevolle) informatie: De weerbaarheidsaspecten zijn maar fragmentarisch meegenomen omdat de gebruikte micro-organismen nog niet met een unieke marker zijn te volgen. Het ontwikkelen van deze markers kost minstens 15 kEuro per marker (met kans op mislukken) en gaat de draagkracht van de huidige bedrijven nog te boven. De huidige bestudering is op geslachtsniveau, maar meestal zijn in de groeimedia naast een weerbaarheidsbevorderende soort ook diverse andere leden van hetzelfde geslacht aanwezig.	

Titel	: PPS Weerbare Substraten
Projectleider:	: J. van der Wolf
Looptijd:	: 2021-2024
Partners:	: 3 potgrondbedrijven, 2 teeltbedrijven, KIJK en RHP
Doel:	: Het ontwikkelen van enkele aantoonbaar weerbare groeimedia zonder gebruik van veen.
Globale aanpak:	Hierbij wordt veel aandacht besteed aan het ontwikkelen van een betrouwbare referentiemethoden zodat in vergelijkend onderzoek de rol van gewas, meststof, biostimulanten en groeimedia vergeleken kan worden met een bekende standaard.
Buiten de scope (maar potentieel waardevolle) informatie:	Hier wordt microbiel alles uit de kast gehaald maar is te weinig budget om bij elke test alle metingen aan de teeltsystemen te doen die de partners relevant vinden (frequente voedingsmetingen, koolstof metingen, zuurgraad, zuurstofaanvoer, watergehalte).

Titel	: Cv100 Wortelmilieu. Rol substraatmaterialen, water, biostimulanten en organische meststoffen bij het creëren van een weerbaar wortelmilieu.
Projectleider:	: P. de Visser
Looptijd:	: 2019-2022
Partners:	: 12 leden Cv100, KIJK
Doel:	: Doel van dit project is om kennis over de ontwikkeling van micro-organismen in substraatteelten te leveren, waarmee weerbaarheid, via gerichte keuze van substraateigenschappen en toevoegingen, kan worden verhoogd. Organische meststoffen zijn een belangrijke vorm van de bedoelde toevoegingen.
Globale aanpak:	Gebruiken van functionele groepen en activiteitsmetingen om weerbaarheid beter meetbaar, stuurbaar en voorspelbaar te maken. Vernieuwend is het "kweken" van gewenste functionele groepen met specifieke organische "voeding" en omstandigheden als pH en vochtgehalte en het monitoren van alle factoren in een tool.
Buiten de scope (maar potentieel waardevolle) informatie:	Het werken met meer dan 4 gewassen en meer dan 3 groeimedia. De invloed van abiotische factoren op micro-organismen is maar heel globaal bekend. Dit zou veel soort specifiek bekend mogen zijn.

Titel	: Ontwikkeling toets Biostimulanten
Projectleider:	: J. DeLong, C. Blok
Looptijd:	: 2021
Partners:	: BU Glastuinbouw
Doel:	: Definieren van een standaardtoets voor het volgen van het microbiom in de tijd voor invloed van gewas, groeimedium, organische meststoffen, biostimulanten en abiotische factoren (vocht, zuurgraad en temperatuur).
Globale aanpak:	Ontwikkelen van een toets met 1 gewas, groeimedium en meststoffen-set zonder biostimulanten om microbiom ontwikkeling in de tijd te meten en om de effecten van andere gewassen, groeimedia (componenten), organische meststoffen en biostimulanten mee te vergelijken. Abiotische factoren worden gemeten (vocht, zuurstof, zuurgraad en temperatuur).
Buiten de scope (maar potentieel waardevolle) informatie:	Hier is maar één combinatie plant – groeimedium onderzocht. De invloed van abiotische factoren is constant gehouden maar nog niet bestudeerd.

Titel	: KAE: koolzuurgas uit bioreactoren
Projectleider:	: C. Blok
Looptijd:	: 2021-2022
Partners:	: Van der Knaap Group, OCAP, KAE
Doel:	: Nagaan of de afgassen van een oxidatieve bioreactor als koolzuurgasbemesting te gebruiken zijn .
Globale aanpak:	Inventarisatie organische reststromen in Nederland. Modelmatig berekenen welke mengverhoudingen tegelijk voeding en koolzuurgas voor kasteelt kunnen leveren. Uitrekenen hoeveel materiaal nodig is in vergelijking tot het aanbod en hoeveel transportbeweging daarbij nodig zijn.
Buiten de scope (maar potentieel waardevolle) informatie:	Samenstelling van het sterk vereenvoudigde microbiom in een reactor.

Titel	: Groene gewasbescherming: herontwerp teeltsysteem aardbei
Projectleider:	: K. Leiss / J. Bac-Molenaar
Looptijd:	: 2018-2022
Partners:	: Aardbeientelers, aardbei opkweek en vermeerderingsbedrijven, substraatbedrijven.
Doel	: Herontwerpen en toetsen van een nieuw en duurzaam, robuust, weerbaar en competitief aardbei-teeltsysteem, met hoge resource efficiency en minimale input van risicovolle gewasbeschermingsmiddelen.
Globale aanpak: Schone start met weerbaar uitgangsmateriaal, alle teeltfasen vinden plaats in de kas (en kieming in cel): optimalisatie van teeltomstandigheden is hier het beste mogelijk, i.c.m. meer mogelijkheden met IPM. Voor junidragers kan de korte teeltcyclus zonder koeling en in de kas worden ontwikkeld, waarbij eerst vragen over bloemtrosinductie onder invloed van korte dag en vervolgens trosstrekking en bloei zonder koeling beantwoord moeten worden.	
Buiten de scope (maar potentieel waardevolle) informatie: De microbiële samenstelling in de wortelomgeving in steenwol en kokos, zowel in opkweek als in de doorteelt.	

Titel	: KAE Stoomvrije Chrysant
Projectleider:	: C. van der Salm
Looptijd:	: 2021-2023
Partners:	: 3 Chrysantenstekbedrijven, 3 chrysantenbedrijven, KAE, KIJK
Doel:	: Nagaan of aanpassingen in perspotsamenstelling en LED-belichting in opkweek invloed hebben op <i>Pythium</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Verticillium</i> , trips en <i>Melodogynae</i> in de teelt.
Globale aanpak: Een serie korte opkweekproeven met perspotten en een serie met LED-recepten. Deze worden gevolgd door een aantal teelten met de beste gecombineerde behandelingen. De samenstelling van het microbioom wordt hierbij meegenomen. De constituenten van de perspotten (compost, houtvezel, zwartveen) worden gescreend op ziekte-onderdrukking op agar.	
Buiten de scope (maar potentieel waardevolle) informatie:	

Titel	: PPS Biorationals binnen IPM tegen ondergrondse ziekten
Projectleider:	: M. Streminska
Looptijd:	:
Partners:	:
Doel:	: Dit project heeft als doel strategieën te ontwikkelen voor de inzet van (nieuwe) biorationals om de gevoeligheid van teeltsystemen voor ondergrondse pathogenen op voorspelbare en reproduceerbare manier te verlagen.
Globale aanpak:	: Dit project focust op de inzet van biorationals tegen bodemziekten in uiteenlopende teeltsystemen, namelijk substraatteelt en grondgebonden teelt.
Buiten de scope (maar potentieel waardevolle) informatie:	: Invloed van afbraaksnelheid en de abiotische factoren

Titel	: PPS paddenstoelen in de circulaire glastuinbouw
Projectleider:	: Caroline van der Salm
Looptijd:	: 2022-2024
Partners:	: Paddenstoelenteler, Hagelunie, 2 paddenstoelenstichtingen
Doel:	: Dit project heeft als doel om de circulariteit in de glastuinbouw verder te ontwikkelen aan de hand van een cross-over met de paddenstoelensector. De cross-over bestaat uit: (i) de productie van paddenstoelen zoals oesterzwammen op plant- en substraatresten uit de glastuinbouw, (ii) verwaarden van restwarmte en CO ₂ die vrijkomt bij de paddenstoelenteelt tot input voor de teelt van groente in kassen (vv) en (iii) inzet van paddenstoelenmycelium om de weerbaarheid van glastuinbouwteelten tegen ziekten en plagen te verhogen.
Globale aanpak:	: Gebruik van bewerkt tuinbouwafval in oesterzwamteeltsubstraat. Berekenen van de conversie van koolstof en productie van warmte en koolzuurgas i.v.m. gebruik warmte en koolzuurgas in de kasteelt. Gebruik van bewerkt en gebruikt oesterzwamteeltsubstraat in de groeimediaproductie voor de kasteelt.
Buiten de scope (maar potentieel waardevolle) informatie:	: Samenstelling van het sterk vereenvoudigde microbiom in een reactor.

Titel	: Kringloop organische stof én bodemweerbaarheid bevorderen
Projectleider:	: Joeke Postma
Looptijd:	: 2020-2022
Partners:	: BO Akkerbouw, Darling Ingredients International, BVOR, P.H. Peterson Saatzucht Lundsgaard, AquaMinerals, GMB BioEnergie, Delphy, Cirkellab, Deltares
Doel:	: de geschiktheid van diverse organische producten voor het verbeteren van de bodemkwaliteit in land- en tuinbouw te testen. Met name gericht op stimuleren van ziektevermindering
Globale aanpak:	: 1) deskstudie organische producten en toepasbaarheid voor verschillende bodemdiensten samengevat (geschiktheid én risico's); 2) karakterisering van uiteenlopende organische producten, inclusief nieuwe organische reststromen, en 3) hun effect op de ziektevermindering van verschillende voor land- en tuinbouw relevante pathogenen. Ongeveer 15 reststromen getest
Buiten de scope (maar potentieel waardevolle) informatie:	: projectwebsite https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksprojecten-LNV/Expertisegebieden/kennisonline/Kringloop-organische-stof-en-bodemweerbaarheid-bevorderen.htm • De hoge temperatuur Rock-Eval methode geeft een nieuwe indeling van organische stoffen maar staat ver van de verschillen van belang voor de biochemische afbraak. • De testen zijn beperkt tot 4 gewas-pathogeencombinaties en 15 organische producten. • De uitkomsten zijn te variabel om toe te passen. • Gericht op organische stof die na 1 jaar nog in de bodem is (EOS); in groeimateriaal wordt meestal tot maximaal 1 jaar geteeld. Het concept EOS heeft dan geen functie.

Titel	: PPS Beter Bodembeheer, integraal naar de praktijk
Projectleider:	: Janjo de Haan & Joeke Postma
Looptijd:	: 2021-2023
Partners:	: penvoerder = BO Akkerbouw. Vele andere partners
Doel:	: kennisontwikkeling rond integraal bodembeheer te vertalen naar praktische boodschappen en adviezen voor de praktijk en inzicht te geven in overblijvende kennishiaten voor de open teelten. WP2A richt zich op bodembiologie en bodemweerbaarheid tegen ziekten en plagen. Andere werkpakketten werken aan de effecten van organische stof, grondbewerking, groenbemesters, wat indirect ook effecten op weerbaar telen kan hebben.
Globale aanpak: WP2A gaat over bodembiologie en bodemweerbaarheid. Van verschillende akkerbouwgronden uit een telersnetwerk en uit lange termijn experimenten wordt de bodemweerbaarheid getest m.b.v. biotoetsen waaraan pathogenen worden toegevoegd (<i>Pythium</i>, <i>Rhizoctonia</i>) Nieuwe biotoets <i>Pratylenchus</i> wordt ontwikkeld. Correlaties met bodemleven wordt onderzocht. Buiten de scope (maar potentieel waardevolle) gebleven informatie: projectwebsite https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksprojecten-LNV/Expertisegebieden/kennisonline/PPS-Beter-Bodembeheer-integraal-en-naar-de-praktijk.htm De aandacht voor organische stof aanvoer en niet kerende grondbewerking is gekoppeld aan niet-microbiële bodemfuncties. Er is dus geen kennis over de activiteit van microbiële groepen gegenereerd anders dan een correlatie tussen microbiële massa en kleigehalte.	

Titel	: Groenbemesters in de praktijk: een stap naar diversificatie van plantaardige productiesystemen
Projectleider:	: Joeke Postma & Leendert Molendijk
Looptijd:	: 2019-2023
Partners:	: LTO Nederland, van Iperen, BO Akkerbouw, TCO, Joordens, Vandinther Semo, Barenbrug, DSV Zaden
Doel:	: het onderzoeken van de effecten van groenbemesters en hun mengsels op de microbiële gemeenschap in de bodem in relatie tot mogelijke ziekte-onderdrukkende eigenschappen.
Globale aanpak: 1) Veldproeven met verschillende groenbemesters; 2) bepalen van microbiële gemeenschappen m.b.v. high-throughput sequencing; 3) bepalen van pathogeen-populaties (schimmels en nematoden); 4) ontwikkelen van een beslisboom voor de open teelten voor de selectie van groenbemesters. Buiten de scope (maar potentieel waardevolle) gebleven informatie: projectwebsite https://www.wur.nl/nl/project/Keuze-van-de-juiste-groenbemester-belangrijk-voor-het-voorkomen-van-bodemziekten.htm Nog geen openbare publicaties. Hier wordt wel gedetailleerde kennis van het microbioom vergaard maar is de directe correlatie met de groenbemesting kort door de bocht. Ander maatregelen / omstandigheden kunnen mogelijk evenveel invloed op het resultaat hebben.	

Titel	: Ondergrondse en bovengrondse weerbaarheid
Projectleider:	: Johanna Bac-Molenaar
Looptijd:	: 2021-2025
Partners:	: GTBN, Gerbera-gewasgroep, komkommer-gewasgroep, chrysant-gewasgroep, Woodchem, Hagelunie
Doel:	: Boven en ondergrondse weerbaarheid integreren.
Globale aanpak: Ondergronds inventariseren op bedrijven per groeimedium. Daarna volgen toevoegingen en worden de effecten gemeten op weerbaarheid. Bovengronds wordt weerbaarheid geïnduceerd in verschillend groeifasen. Tenslotte wordt ondergronds en bovengronds gecombineerd. Buiten de scope (maar potentieel waardevolle) gebleven informatie: Een goed overzicht van bedrijfstypen. 1^e: Er zijn meer sub-indelingen dan vooraf voorzien. Groeimedia zijn bedrijfsspecifiek en soms zelfs meer dan dat. 2^e: het induceren van ziekten is veel te onzeker om toe te passen en een al ernstige ziekte op een bedrijf zit statistisch nog onder de verwerkingsgrenzen van de beperkte proeven. Nog geen openbare publicaties.	

Titel	: Weerbaarheid
Projectleider:	: Leo van Overbeek
Looptijd:	: 2020-2023
Partners:	: GTBN, BO Akkerbouw
Doel:	: Bepalen van weerbaarheid in planten o.b.v. microbiom en metabolomics
Globale aanpak: Ondergrondse- en bovengrondse maatregelen inclusief micro-organismen worden ingezet waarna het microbiom en metabool op de plant en op de wortels wordt gemeten. Buiten de scope (maar potentieel waardevolle) gebleven informatie: Op kokos, veen en potgrond blijkt: vaak ontbreken effecten op ziekten en plagen van in literatuur bewezen elicitoren. Wel verschilt het metabool sterk tussen de groeimedia. Ook zie je dat de groeimedia wel effecten geven op de ziekten en plagen. Het literatuuronderzoek is al gepubliceerd.	

4.2 Wittevlekkenanalyse

De kwantificatie

Er worden in de praktijk veel niet-microbiële en microbiële biostimulanten aangeboden (zowel binnen en buiten de EU-definitie). Het ontbreekt in de praktijk aan manieren om het effect van de toediening te controleren en door de tijd te volgen.

1. Voor niet-microbiële toevoegingen gaat het om enerzijds het beter karakteriseren van de toegediende organische stoffen zoals algen en anderzijds om het meten van het effect op een beoogde functionele groep.
 - a. De karakterisering van organische stof is vaak beperkt tot fractioneren in 2 tot 10 klassen (van Soest methode; humaten; HWEC, Rock-Eval). Er is behoefte aan methoden die snel en goedkoop duizenden soorten organische stof kunnen onderscheiden (HPLC, NMR, NIR) en het vrijkomen van koolstof kwantificeren, bij voorkeur in mg/m²/d.
 - b. Het meten van het effect op functionele groepen kan met DNA/RNA technieken en met enzymtoetsen.
2. Voor microbiële toevoegingen gaat het om DNA/RNA-herkenning, om één bepaald nuttig gestimuleerd of toegediend micro-organisme na het toedienen te kunnen volgen. Er zijn momenteel gespecialiseerde bedrijven die voor ongeveer 15 k Euro zo'n qPCR-marker kunnen ontwikkelen. Daarna kan dit organisme, na toedienen, in de tijd gevolgd worden. Voor het volgen is nog wel nodig dat het uitvoerende lab een ijklijn maakt (a 5 kEuro), waarna grote aantallen monsters voor 100-200 Euro per monsters bepaald kunnen worden.

Knelpunten hierbij zijn:

- Sommige functionele groepen bevatten niet 1 maar meerdere enzymen of DNA/RNA codes.
- De toeleverende bedrijven zijn, los van de prijs, niet altijd bereid hun middelen te laten identificeren.
- Veel middelen bestaan niet uit één, maar uit meerdere stoffen en/of micro-organismen.

Technisch is verdere kwantificering haalbaar. Om er voor de weerbaarheid profijt van te trekken is het nodig over een gestandaardiseerde teelttoets te beschikken. Dan kunnen middelen onder vastgestelde omstandigheden getoetst en vergeleken worden, zodat groeimedia bewust aangepast kunnen worden.

Het completer maken van waarnemingen

De huidige PPS proeven met een budget van 1-3 M Euro kunnen maar enkele aspecten van de interactie groeimedium-plant tegelijk onderzoeken. Dat is op zich acceptabel als de waarden van de ander aspecten dan maar constant zijn en gemeten en gerapporteerd worden. Dat dit niet altijd gebeurt, komt deels voort uit kostenoverwegingen en deels uit een te weinig interdisciplinaire opzet. Ook belemmerend is de focus op korte termijn van meebetalende partijen, die soms weinig waarde hechten aan het weten waarom iets werkt. Men meet dan de aanwezige soorten maar doet onvoldoende waarnemingen in de tijd. Men meet de invloed van het groeimedium maar vergeet de invloed van plant, organische meststof en organische toedieningen te monitoren. Men meet microbiële activiteiten in de tijd maar niet de abiotische omstandigheden als temperatuur, watergehalte en zuurgraad. Men meet potentiële (maximale) enzymactiviteit maar geen actuele (veldwaarde) enzymactiviteit. Om al deze zaken en meer tegelijk in de gaten te houden, zouden minimale proefprotocollen opgesteld kunnen worden en als eis voor de uitvoering gesteld kunnen worden.

Bioreactoren en paddenstoelencompost

Het vaststellen van microbiom in bioreactoren voor meststofproductie, en voor het enten van recirculatiewater na ontsmetting, kent dezelfde beperkingen als die voor groeimedia voor planten gelden. Vooruitgang in de onderzoeksmethoden van de een zijn toepasbaar bij de ander. Dit geldt ook voor het meten van het microbiom in compost voor paddenstoelen.

Vermijden systeem inherente ziekten

Het aanpassen van een groeimedium is een vorm van herontwerpen van het teeltsysteem. Voor gewasbescherming is al ervaring met de relatie systeemontwerp-ziektedruk. Een aanpassingen van één detail kan leiden tot een hogere ziektedruk. Zo kan een aanpassing van het groeimedium in de opkweek een verbeterde groei in de opkweek betekenen, en tegelijk leiden tot te natte en dus zieke planten in de doorteelt.

Soms zelfs alleen voor heel specifieke teeltsystemen, bijvoorbeeld wel in eb en vloed maar niet in overhead irrigatiesystemen. Er is nog lang geen methodiek om veilig nieuwe teeltsystemen te ontwerpen. Daarom zijn standaardteelttesten van belang die ook ingezet kunnen worden bij teeltproblemen. Bedoeld wordt dat de standaardtest flexibel genoeg is om ook vergelijkingen van aanpassingen in teeltsysteem te maken. Zo kunnen systeeminterne ziekten beter begrepen worden. Het jarenlang voortbestaan van hoge en specifieke ziektedruk in teelten als aardbei en roos toont aan hoe belangrijk het is dit soort problemen systematisch aan systeemonderdelen te kunnen koppelen.

Het koppelen van microbiom invloed aan plantinhoudsstoffen (metaboloom)

Experimenteel kan het verband gelegd worden tussen het microbiom in de wortelomgeving en de weerbaarheidsbepalende inhoudsstoffen in de plant (paragraaf 3.3). Verwacht wordt dat dit onderzoek niet voor 2030 tot praktijktoepassingen zal leiden. Wel belangrijk lijkt de voorlopige uitkomst dat groeimedium een voorspelbaarder invloed heeft dan het toevoegen van bewezen elicitoren (niet-microbiële gewasbeschermingsmiddelen).

Abiotische factoren en aanvoersnelheid van organische stof

De algemene activiteit in een wortelomgeving zal zich instellen op een evenwicht tussen aanvoer en afbraak van koolstof. Het is daarom nuttig, als indicator van weerbaarheid, een schatting van de algemene activiteit te kunnen maken op basis van het vrijkomen van koolstof en de abiotische factoren die de afbraaksnelheid beïnvloeden. Voor de aanvoer moet bekend zijn hoeveel koolstof per eenheid tijd vrijkomt uit de plant, het groeimedium, de (organische) meststof en de gebruikte biostimulanten/gewasbeschermingsmiddelen. De abiotische factoren zijn temperatuur, vochtgehalte en zuurgraad. Dit punt komt overeen met het al genoemde punt "Het completer maken van waarnemingen".

Klei

In bodemonderzoek is veel belangstelling voor de interactie van klei en organische stof met betrekking tot het microbiom en de weerbaarheid van bodems. In groeimedia is hier nog geen onderzoek aan gedaan. Omdat klei populaties stabiliseert, kan dit een interessante onderzoeksrichting zijn.

Biostimulanten en gewasbeschermingsmiddelen

In onderzoek is de formele indeling van weerbaarheidsverhogende toedieningen minder belangrijk dan het vinden van functionele relaties. De termen niet-microbiële biostimulant, microbiële biostimulant, gewasbeschermingsmiddel en biorational worden gebruikt waarbij vooral de term biostimulant losjes gehanteerd wordt en de bedoelde stoffen soms formeel onder de EU-definitie voor gewasbeschermingsmiddelen vallen. Dit punt is in Box 2 besproken.

4.3 Weerbaarheid in de praktijk

In de praktijk worden heel veel middelen aangeboden met zowel een plantengroei stimulerende werking, alsook een (niet vermelde) ziekte-onderdrukkende werking. In beginsel zijn er grote mogelijkheden groeimedia in te zetten als basis voor een stabiel en ziekte-onderdrukkend microbiom in de wortelomgeving. De brede geldigheid van de EU-definitie voor gewasbeschermingsmiddelen maakt het niet aantrekkelijk voor potgrondbedrijven in dit onderwerp te investeren. Men volgt wel de ontwikkelingen en verwerkt producten van derden op verzoek in mengsels. Wat ontbreekt is het investeren in eigen lab faciliteiten en het aanbieden van groeimedia met een vooraf gedefinieerd microbiom. Hoopgevend is dat de meeste grote bedrijven tegenwoordig wel één of meer microbiologen in dienst hebben. De kans om een toevoeging of groeimediumbestanddeel als gewasbeschermingsmiddel te moeten registreren, maakt dat bedrijven liever losse middelen van derden gebruiken. Dat is jammer omdat groeimedia als koolstofbron voor het microbiom een grote stabiliserende invloed kunnen hebben op het microbiom. De andere koolstofbronnen kennen een grotere dynamiek. Zo volgt de exudatie van de plant het lichtniveau en past de plant het soort exudaten aan. Organische meststoffen en organische toevoegingen geven per dosering een impuls die afneemt in de tijd.

De teler heeft vaak heel weinig achtergrond voor wat betreft de microbiologie van een gezond groeimedium. De informatie die tot nu toe van onderzoek en toeleverende bedrijven komt is nog te ingewikkeld en verwarrend. Zoals eerder gezegd worden veel middelen toegepast in vertrouwen op een leverancier en zonder dat met controlemetingen een beeld van de effectiviteit gevormd kan worden. Daarom wordt er door de schrijvers van dit rapport gepleit voor het ontwikkelen van standaardteeltesten die een beeld geven van de ontwikkelingen van het bodemmicrobioom door de tijd. Zulke testen moet het mogelijk maken om onwerkzame middelen te onderscheiden en om voor de werkzame middelen de beste doceermethoden te vinden.

Daarnaast zou het helpen als de manieren waarop bedrijven, onderzoekers en telers over dit onderwerp praten een gezamenlijke taal zou kennen. Onderzoekers met verschillende achtergronden spreken niet alleen verschillende talen maar zijn het ook niet eens over de context waarin de kennis tot waarde moet komen (Figuur 1 en Figuur 2). Dat leidt ertoe dat methoden worden gebruikt die voor de praktijk incomplete kennis leveren. Eén methode om hier wat aan te doen is een gezamenlijke serie achtergrondartikelen in de vakpers.

5 Kansen en belemmeringen voor structurele verankering in kennisontwikkeling en -valorisatie

5.1 Brede inventarisatie

Uit de veelheid van in dit rapport genoemde verbanden noemen we eerst de belangrijkste antwoorden op de vier hoofdvragen in de doelstelling.

1. Welke groeimedia (anders dan bodems) zijn beschikbaar of in ontwikkeling in de bedekte teelten? Deze vraag was bedoeld om groeimedia te identificeren met een positief effect op de weerbaarheid van het teeltsysteem waarin ze toegepast worden. Gebleken is dat veel groeimedia kunnen dienen als de stabiele basis voor een actief en divers microbiom in de wortelomgeving. Hierbij gaat het bij de organische groeimedia om een optimum voor de afbraaksnelheid oftewel het vrijkomen van koolstof, waaronder en waarboven de kansen voor ziekten toenemen. In een groeimediamengsel kunnen iets te onstabiele en iets te stabiele bestanddelen elkaar compenseren. Groeimedia met een positief effect op de weerbaarheid van het teeltsysteem zijn:
 - Groeimedia zonder eigen koolstofbijdrage te weten steenwol, kleikorrels, perliet, tuf en zand. Deze zijn allen in grote hoeveelheden beschikbaar. Bij gebruik van deze media is het microbiom aanvaardbaar actief met voornamelijk bacteriën. Er is weinig ervaring met het bijsturen van de activiteit.
 - Groeimedia met een hoge stabiliteit zijn kokosproducten (gruis, vezel en brokken), schors, biochar, sfagnum en bioschuimen. De kokos- en schorsproducten zijn in grote hoeveelheden beschikbaar (nu al 10-20% van het marktvolume). Biochar, sfagnum en bioschuim zijn in kleine hoeveelheden in de markt maar kunnen met ondersteuning richting 2030 een rol van betekenis vervullen, zeg samen tot maximaal 5% van het benodigde volume.
 - Interessante groeimedia met een vrij lage stabiliteit zijn houtproducten (vezel, en korrels). Deze zijn al in grote hoeveelheden beschikbaar (nu al 5-10% van het marktvolume) maar zowel kwaliteit als beschikbaarheid kunnen nog verbeterd worden.
 - Interessante groeimediabestanddelen met op zich te lage stabiliteit zijn composten, champosten en veel vezelproducten (vlas, hennep, grassen). De beschikbare hoeveelheden van deze producten liggen onder de omvang van de huidige, laat staan toekomstige, vraag. Toch vervullen ze al een belangrijke en toenemende rol in het toevoegen van weerbaarheid aan mengsels. De compostproductie heeft baat bij een beter verhouding innameprijs en prijs voor verwerkt product; bij een langere composteertijd en bij minder verwerking door lokale overheden. De verwerking van vezelproducten zou nog toe kunnen nemen als het areaal natuurgebied toeneemt en de verwerking minder lokaal wordt.
 - Waterteelten zijn in de huidige systemen microbiëel weinig stabiel maar bieden wel ontwikkelingsperspectief voor bladgroenten, kruiden, kool en knolsoorten.
 - De grote afwezigheid in deze opsomming is veen, nu nog goed voor 60-65% van het marktvolume. De vervanging van veen zal de markt een sterke impuls richting weerbare groeimediabestanddelen geven maar ook leiden tot grotere fluctuaties in kwaliteit, met risico's voor plant en mens. Dit geeft ruimte voor nu marginale materialen zoals: schors van nog niet gebruikte boomsoorten; rijstekaf dat nu verbrand wordt; riet; olifantsgras; lisodode; geteeld levend veenmosveen (sfagnum); vermicompost; biochar; grasvezel. Deze materialen kennen lage beschikbaarheid en grote kwaliteitsproblemen. Toch wordt verwacht dat door technische behandelingen, verbeterde inzameling en faciliterend beleid deze problemen op vrij korte termijn economisch opgelost kunnen worden.
2. Welke aanvullende maatregelen zijn mogelijk om de weerbaarheid van beschikbare groeimedia te verhogen? De snelheid waarmee koolstof vrijkomt is een belangrijke en meetbare grootte die een indicator is van de microbiële activiteit. Groeimediabestanddelen moeten hierop beoordeeld worden, rekening houdend met een optimumstabiliteit, dus afkeur van te stabiele en te onstabiele media. De microbiële activiteit is niet alleen afhankelijk van de groeimediabestanddelen maar is ook afhankelijk van de koolstof vrijgemaakt door de plant, de (organische) meststoffen en de organische toedieningen. Die vier koolstofbronnen moeten dus

altijd tegelijk bestudeerd worden. Bovendien moet rekening gehouden worden met abiotische factoren, in elk geval temperatuur, vochtgehalte en zuurgraad, die bepalen hoe actief micro-organismen kunnen zijn bij een al vastgestelde koolstofaanvoer. Als een teler de bovengenoemde informatie op een rij heeft, kan hij de activiteit van functionele groepen beïnvloeden door de abiotische factoren anders in te stellen en door de toevoer van organische stof te sturen. De aanvoer van organische stof kan op verrassend veel manieren gestuurd worden zoals hoeveelheid per gift, frequentie van toedienen, plaats van toedienen, verspreiding in het wortelmilieu. Daarnaast is er een grote invloed van de aard van de toegediende organische stof zoals groeimedia mix, één of mengsels van organische meststoffen en één of mengsels van organische toedieningen. Tenslotte is het mogelijk microbiële toedieningen te gebruiken al is hun effect in veel gevallen tijdelijk (1-3 weken). Voor een concreet voorbeeld zie Box 7.

3. In welke mate worden alternatieve groeimedia op dit moment meegenomen in kennisontwikkeling en -valorisatie over weerbaarheid in bodem en groeimedia? Uit de genoemde onderzoeken blijkt dat alternatieve groeimedia geregeld meegenomen worden in onderzoek maar niet in samenhang met de totale koolstof aanvoer en abiotische factoren. De mogelijkheden de aanvoer van organische koolstof te reguleren worden vrijwel nooit in de onderzoeken betrokken. Vrij vaak worden geen waarnemingen in de tijd gedaan. De kans op praktische toepassingen is dus voorlopig klein. De onderzoekers weten vaak wel dat ze factoren verwaarlozen maar budget en specialisatie maken het vaak onmogelijk onderzoek in de volle breedte te doen. Daarbij ontbreken totaal protocollen en standaard veldmethoden voor het maken van herhaalbare vergelijkingen.
4. Welke kansen of belemmeringen zijn er voor structurele verankering van alternatieve groeimedia voor (al dan niet bredere) toepassing in de praktijk en in kennisontwikkeling en -valorisatie? Voor het toepassen van alternatieve groeimedia is er zowel een noodzaak, namelijk de afname van veengebruik, als een kans, namelijk de weerbaarheid. De kansen dat alternatieve groeimedia in de markt een rol gaan spelen is dan ook groot. Een belemmering daarbij is de focus op alleen groeimedia. Plant, groeimedium, organische mest en organische toedieningen vormen één samenhangend systeem. Om dat systeem bewust te gebruiken om een gewenst microbioom te realiseren heeft de teler een beter op integrale kennis gebaseerd advies nodig. Daarnaast zijn de eisen aan organische toevoegingen met effecten voor plantgezondheid belemmerend voor de ontwikkeling van toepassingen van die toevoegingen. De interacties van bodemorganismen met de plant zijn niet gescheiden zijn in of gewasbeschermingsfuncties of voedingsfuncties of stressfuncties. Daarom vallen veel micro-organismen onder de gewasbeschermingsmiddelen. Het lijkt erop dat dit ook kan gelden voor het vooraf verrijken van groeimedia met organische meststoffen en organische toedieningen, omdat ze het gewas mede tegen ziekten beschermen. Het bedrijfsleven aarzelt daarom te investeren in onderzoek en ontwikkeling. Bij de inzameling van lokale restmaterialen zouden lokale overheden meer aanbod kunnen genereren voor grote verwerkers. Bij de verwerkers remmen de hoge inname prijzen en vaak beperkte opslagmogelijkheden het leveren van kwaliteit in het eindproduct.

Uit dit overzicht blijkt dat groeimediabestanddelen en teeltsystemen beoordeeld kunnen worden op een algemene weerbaarheid. Die algemene weerbaarheid is -in afwachting van betere methoden- te kwantificeren als een stabiele microbiële activiteit, een hoge (maar niet te hoge) microbiële activiteit en een hoge diversiteit van het microbioom. De algemene weerbaarheid voorkomt voor veel ziekteverwekkers dat ze zich sterk kunnen vermeerderen. Het microbioom dat deze weerbaarheid oplevert, moet stabiel zijn wat inhoudt dat dit microbioom al bestaat vóórdat ziekteverwekkers actief worden. Andere beschrijvingen met soortgelijke strekking zijn "preventieve werking", "microbiële buffering" en, geleend van de biologische controle met insecten; "standing army".

5.2 Overzicht van kansen en belemmeringen

Naast de antwoorden op de kernvragen, leverde dit rapport veel aangrijpingspunten voor verdere ontwikkeling van de weerbaarheid door groeimedia in de totale wortelomgeving.

Klei

Klei wordt niet beschouwd als een groeimedium maar als een toeslagstof. Vanuit microbiologisch oogpunt verdient klei meer onderzoek. Van klei is bekend dat het intensief bewoond wordt door gespecialiseerde micro-organismen. Verschillende aspecten spelen hierbij een rol:

- a. Klei bestaat uit dunne plaatvormige deeltjes die gemakkelijk stapelen. Daarom heeft klei een heel hoog oppervlakte per eenheid volume. Micro-organismen en met name bacteriën kunnen zich tussen de plaatjes beter handhaven dan in de omringende bodemoplossing.
- b. Klei bevat een op het oppervlakte negatieve oppervlakteladingen waaraan bacteriën zich elektrostatisch kunnen binden.
- c. Klei bevat een op het oppervlakte negatieve oppervlakteladingen waaraan organische stof/organische moleculen, en met name humusstoffen, zich elektrostatisch kunnen binden. Het klei humus complex is zeer rijk aan micro-organismen (10^8 tot 10^{12} c.f.u.).
- d. Klei bevat elementen die als voeding voor micro-organismen of planten vrijgemaakt kunnen worden. Evolutionair zijn er (veel) micro-organismen ontstaan die minerale voeding uit klei kunnen vrijmaken voor zichzelf en om met planten uit te ruilen voor koolstof (exudaten).

Klei is af en toe gekorrelt in potgronden toegepast om het vochtgehalte te verhogen. Er is nog geen of weinig onderzoek gedaan naar het inzetten van klei om de microbiële samenstelling van groeimedia te beïnvloeden. Van de tientallen sterk verschillende kleisoorten lijken alleen illiet en zeoliet op enige schaal in groeimedia toegepast. Het gebruik van steenmeelsoorten in de biologische landbouw stimuleert soortgelijke micro-organismen.

Organische stof

Zowel de organische stof in groeimedia als in organische meststoffen als in niet-microbiële biostimulanten wordt nog gekarakteriseerd met methoden die de (tien)duizenden stoffen in "organische stof" onderverdelen in minder dan 10 klassen. Voorbeelden zijn de van Soest methode (hemicellulose, cellulose en lignine), humusstoffen (humine, humuszuur en fulvozuur) en hot water extractable organisch matter (wel en niet HWE). Bovendien hebben deze methoden geen relatie met de microbiële afbreekbaarheid. Nog niet breed toegepaste methoden die organische stoffen veel verder onderverdelen omvatten thermische gradiëntmethoden (TGA), HPLC en NMR. Momenteel is nog onbekend is hoe de uitkomsten in verband gebracht moeten worden met gewenste microbiële activiteit door die stoffen. Het ontbreekt zowel aan middelen om dergelijk meer fundamenteel onderzoek te starten als aan voldoende gestandaardiseerde veldmethoden om de activiteit in teeltsystemen vast te stellen. NB: NIR-methoden zijn niet genoemd omdat aangenomen werd dat ze per organische stof geijkt moeten worden. Daarmee zijn ze geschikt voor routinecontroles op kwaliteit maar niet voor karakteriseren van wisselende organische stoffen. Het blijkt echter dat ILVO in België goede ervaringen heeft met kalibraties over verschillende groeimedia heen (informatie uit het consultatieproces).

Wenselijke niveau van microbiële activiteit

Er is geen overeenstemming over richtinggevende waarden voor de microbiële activiteit. Wel wordt langzaam bekend welk niveau van microbiële activiteit verwacht mag worden op basis van de afbreekbaarheid van groeimedium, plant, organische meststof en niet-microbiële biostimulanten (Tabel 10, Visser e.a., 2020). Ook is bekend dat een te hoge afbreekbaarheid leidt tot een hogere kans op plantpathogenen (Järvenpää e.a., 2021). Het zou dus mogelijk moeten zijn met beperkte inspanning tot richtwaarden te komen. Een van de uitkomsten zal hierbij zijn dat bij gebruik van niet-organische meststoffen minder stabiele groeimediabestanddelen gebruikt kunnen worden, terwijl bij de inzet van organische meststoffen veel stabielere groeimediabestanddelen gewenst zijn.

Wenselijke verhouding tussen de belangrijkste microbiële soortengroepen

In het onderzoek bestaat nog geen sluitend overzicht van de functionele groepen groeimedia en hun relatieve bijdrage aan een evenwichtig functionerend teeltsysteem. De aandacht gaat nu te veel uit naar de al bekende functionele groepen en naar enkelvoudige bestudering van effecten. Zonder een totaal begrip van de materie te pretenderen lijkt het voor de hand te liggen naast de omzetting van cellulose, stikstof, chitine en AHL minstens ook te kijken naar het vrijmaken van S en P uit organische stof (groeimedia, organische meststoffen en biostimulanten). De logica hier is dat deze elementen onderdeel zijn van aminozuren en dus bijdragen aan eiwit structuren. Daarnaast is er nog veel behoefte aan verdergaand fundamenteel onderzoek.

Gebrek aan bruikbare meetmethoden

De huidige methoden leveren voor de telers en toeleverende industrie nog te moeilijk te doorgronden en incomplete informatie (Figuur 2). Een manier om de verschillende metingen bijeen te brengen in een uniform kader is het werken met interpolerende modellen. Het voordeel van een model is dat waarnemingen in een tijdsverloop te plaatsen zijn en dat verplicht gekeken moet worden naar de invloed van abiotische omstandigheden in de loop van de tijd. Ook kan er de belangrijke koppeling gemaakt worden tussen verwachte microbiële activiteit en controlemetingen daarop met chemische of gasmetingen (bijvoorbeeld TOC of respiratie).

Microbioom na mengen

Het microbioom van groemediabestanddelen is bijna altijd al gemeten al is de spreiding op de uitkomsten en verschillende methoden nog onvoldoende bekend. Over het microbioom van mengsels samengesteld uit bekende groemediabestanddelen is echter nauwelijks iets bekend, terwijl dit een belangrijke stap is in het succesvol ontwikkelen van groeimedia. Essentieel voor de interpretatie is dat er gestandaardiseerde veldmethoden komen om de activiteit in gedefinieerde teeltsystemen vast te stellen. Dergelijke veldmethoden zijn ook nodig voor vooruitgang in het organische stof onderzoek. Dit onderwerp leent zich voor onderzoek in samenwerking tussen praktijkbedrijven en onderzoeksinstellingen (PPS structuur).

Watergeefsystemen

De nadruk ligt in dit rapport op groeimedia en daarna op de koolstofaanvoer via organische meststoffen, niet-microbiële biostimulanten en de plant. Er is echter nog een andere manier om invloed uit te oefenen. Het drainwater op tuinbouwbedrijven wordt vaak gesteriliseerd voordat het hergebruikt wordt. Dit water is daarom relatief gevoelig voor invasieve soorten en ziekten. Een manier om dat risico te verminderen is om het water zonder ontsmetten door een stabiele bioreactor te leiden die het water snel van een gewenst microbiële profiel kan voorzien. De theorie achter deze oplossing klinkt fraai maar het ontbreekt nog aan overtuigend bewijs dat dit bijdraagt aan een stabiel microbioom in de wortelomgeving. De bioreactor moet uiteraard voortdurend worden voorzien van voeding en zuurstof voor de micro-organismen.

Opkweek-doorteelt

Het lijkt nuttig een bepaald microbioom al in de opkweek op de wortels te laten ontstaan, Mits bij overplanten hetzelfde microbioom kan doorgroeien. Zo is het systeem steenwol plug in steenwolteeltblok op steenwolmat bijzonder succesvol gebleken. Bij het telen op veen of kokos is het opkweekmedium weliswaar ook veen of kokos maar zijn de pluggen gemaakt van aanmerkelijk fijner materiaal dan het teeltmedium. Dit maakt het doorerven van microbiële samenstelling al wat moeilijker. Bij gebruik van een percentage compost in pluggen en in doorteeltmedia, wordt bijna altijd een ander soort compost gebruikt in opkweek dan in doorteelt, waardoor het aansluiten van het microbioom nog moeilijker wordt. Het ontbreekt hier aan onderzoek om te bepalen of een overgang van een opkweekmicrobioom naar een doorteeltmicrobioom wel altijd gunstig is voor de plant. Dit type onderzoek is van direct belang voor de opkweekbedrijven en zou dus met deelname van deze bedrijven uitgevoerd kunnen/moeten worden.

Nog niet volledig doorontwikkelde materialen

Houtvezel en compost/houtvezel mengsels zijn al op de markt. Houtvezel wordt gebruikt in potgrondmengsels tot 30%v/v. Het materiaal blijkt in proeven in Nederland en Amerika potentie te hebben tot 60%v/v, al moeten dan wel de voorraadbemesting, het fertigatiesysteem en de aan de teelt voorafgaande opkweek worden aangepast. Daarnaast is houtvezel om te vormen tot een mat die steenwolopbrengsten kan evenaren. Deze technische ontwikkelingen worden in de komende vijf tot tien jaar verwacht. Houtvezel/compost mengsels die samen gecomposteerd zijn, maken het mogelijk zowel houtvezel als compost in iets hogere hoeveelheden in te mengen in groeimedia. Door het gezamenlijk composteren is het microbioom veel stabielere dan wanneer de componenten vlak voor het planten worden gemengd. Het doorontwikkelen van deze mengsels verloopt langzaam omdat de partijen per batch nog veel verschillen. Op het microbioom van de gezamenlijk gecomposteerde mengsels (co-composten) en de stabiliteit van dat microbioom is onvoldoende zicht. In bredere zin is er in Europa nauwelijks openbaar onderzoek naar het vinden van de meest geschikte technische verwerkingsmethoden voor houtvezel, compost, schors etc., iets wat in de VS in elk geval voor houtvezel wel het geval is (Jackson, 2021).

Nog te ontwikkelen materialen

Biochar, schors en stro zijn nog niet volledig ontwikkelde materialen. Het lijkt in het belang van het bedrijfsleven een brede inventarisatie te laten uitvoeren van grondstoffen die door extra bewerkingen geschikt kunnen worden als groeimediambestanddelen. Zo'n inventarisatie zou bij voorkeur Europees gericht moeten zijn en gericht op het technisch en economisch opwaarderen van materialen waarbij de concurrentie nog niet te hevig is. Omdat de prijzen van grondstoffen door vraag naar energie en organische meststoffen enorm in beweging zijn en omdat door het verlaten van veen als grondstof het aanbod kleiner dreigt te worden dan de vraag, is een onderzoek naar verbreding een strategische noodzaak.

Verwerking organische restproducten

De kwaliteit van composten en organische restproducten als riet, gras en maaisel is vaak te laag voor verwerking tot groeimedia. De risico's worden vaak onderschat (een niet volledige opsomming is: metalen, plantenziekten, onkruiden, humaanpathogenen, resten bestrijdingsmiddel, natuurlijke toxische stoffen). Composteerders hebben nu nog baat bij een hoge doorvoersnelheid (en lagere kwaliteit). Zonder een andere manier van aanbodsregulatie blijft verbetering moeizaam. Daarnaast is voor tuinbouwtoepassingen het verwerken van een deel dierlijk materiaal door de compost nuttig om dat deel van het microbiom dat N, P en S vrijmaakt gericht op gang te brengen en houden. Ook hier zal de regelgeving die mogelijk duidelijker moeten bieden, vóór dit in praktijk vorm zal krijgen.

5.3 Slotopmerkingen

Het werk aan dit rapport was uitdagend. Het analyseren van de weerbaarheid in groeimedia is nog volop in beweging en in de markt zijn krachtige bewegingen richting een biobased circulaire economie waar te nemen. De verschillen in opvatting tussen fundamenteel, praktisch en bedrijfsonderzoek zijn soms groter dan de betrokkenen willen toegeven. Bij het uitschrijven van gedachten moet uiteraard een keuze gemaakt worden en die zal niet altijd op brede instemming kunnen rekenen. Waar mogelijk, is literatuur gebruikt om zaken in een kader te plaatsen. Waar de verschillen te groot zijn is gebruik gemaakt van kaders in de tekst waar andere standpunten worden weergegeven. De hoop is dat dit rapport verdere actie mogelijk maakt, zelfs op thema's waar de controverses vooralsnog groot zijn.

Verder blijkt, ondanks de ingewikkelde microbiële relaties in de wortelomgeving het aantal mogelijke aangrijpingspunten groot en kansrijk. Er is dus een (micro) wereld te winnen. Kortom, alhoewel er niet maar één gegarandeerd weerbaar groeimediam te definiëren is, lijkt het haalbaar om met een nog steeds overzienbaar aantal ondersteunende maatregelen en metingen de weerbaarheid van de wortelomgeving stelselmatig hoog te maken en dat met ondersteunende teeltmaatregelen en controlemetingen ook zo te houden. Voor de duidelijkheid en in grote lijnen:

1. Zorgen voor een vrijkomende stroom koolstof van tussen de 1000-2000 mgC/m²/d door een juiste combinatie van de bijdragen van:
 - a. Groeimediam
 - b. Plant
 - c. Organische meststoffen
 - d. Organische toevoegingen.
2. Stabiliseren van het vrijkomen van de organische stof door stabiel houden in het groeimediam van de invloed van:
 - a. Temperatuur
 - b. Watergehalte
 - c. Zuurgraad
 - d. Zuurstofaanvoer.
3. Gelijkmatic aanvoeren in tijd en plaats van organische stof door:
 - a. Gelijkmatic en frequent doseren van de koolstofbronnen
 - b. Zoveel mogelijk door het wortelmediam verspreiden van de toegediende koolstofbronnen
 - c. Feedbackmetingen gebruiken om te sturen.

Literatuur

- Andreo-Jimenez, B., Schilder, M.T., Nijhuis, E.H., Te Beest, D.E., Bloem, J., Visser, J.H.M., van Os, G., Broelsma, K., de Boer, W., Postma, J. 2021.
Chitin- and Keratin-Rich Soil Amendments Suppress *Rhizoctonia solani* Disease via Changes to the Soil Microbial Community. *Appl Environ Microbiol.* 2021 May 11;87(11):e00318-21. doi: 10.1128/AEM.00318-21. PMID: 33771785; PMCID: PMC8208141.
- Antoniou, A., Tsolakidou, M. D., Stringlis, I. A., Pantelides, I. S. 2017.
Rhizosphere Microbiome Recruited from a Suppressive Compost Improves Plant Fitness and Increases Protection against Vascular Wilt Pathogens of Tomato. *Frontiers in plant science*, 8, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02022>
- Bakker, S., de Zwart, H.F., Ruijs, M., Visser, R., and Toet, 2016.
Gebruik biomassa reststromen en hightech sensoren in de intensieve glastuinbouw. Samenvattende rapportage TO2 samenwerkingsproject Wageningen UR, TNO, ECN. Thema Voedselveiligheid, duurzame landbouw; Subthema Optimalisatie Glastuinbouw. Report Number: GTB1395.
- Blaya, J., Marhuenda, F.C., Pascual, J.A., Ros, M. 2016.
Microbiota Characterization of Compost Using Omics Approaches Opens New Perspectives for *Phytophthora* Root Rot Control. *PLoS ONE* 11(8): e0158048. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158048>
- Blok, C., Streminska, M., Vermeulen, T., and Klein, P., 2017.
Organic fertilisers and nitrogen availability. *Acta Hort* 2017 Vol. 1168 Pages 1-10. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1168.1
- Blok, C., and Vermeulen, T., 2012.
Systems Design Methodology to Develop Chrysanthemum Growing Systems. *Acta Hort.* 2012 Vol. 927 Issue 2 Pages 865-878.
- Blok, C., Baumgarten, A., Baas, R., Wever, G., and Lohr, D., 2019.
Analytical methods used with soilless substrates. In: Raviv, M., Lieth, H., and Bar-Tal, A. (eds.), *Soilless Culture. Theory and Practice*. Elsevier, Oxford, United Kingdom.
- Blok, C., 2020.
De impact van vier substraattypen op de duurzaamheid van het productieproces van potplanten. Notitie voor MDK plantentelers.
- Blok, C., Rijpsma E., and Ketelaars, J.J.M.H., 2016.
New Growing Media and Value Added Organic Waste Processing. *Acta Hort.* Vol. 1112, Pages 269-280. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1112.37
- Bonanomi, G., Zotti, M., Idbella, M., Cesarano, G., Al-Rowaily, S.L. & Abd-ElGawad, A.M. 2021.
Mixtures of organic amendments and biochar promote beneficial soil microbiota and affect *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*, *Rhizoctonia solani* and *Sclerotinia minor* disease suppression. *Plant Pathology*, 00, 1– 12. Available from: <https://doi-org.ezproxy.library.wur.nl/10.1111/ppa.13514>
- Bonanomi, G., 2015.
A “black” future for plant pathology? Biochar as a new soil amendment for controlling plant diseases. *Journal of plant pathology* 2015. Vol. v. 97 Issue no. 2 Pages pp. 223-234-2015 v.97 no.2.
- Brock, 2019.
Microorganisms. Pearson, Harlow, UK.
- Bubici, G., 2018.
Streptomyces spp. as biocontrol agents against *Fusarium* species. *CAB Reviews Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources* 13(050). DOI: 10.1079/PAVSNNR201813050
- CEN-13432, 2017.
Compostability.
- Chiusano, M.L., Incerti, G., Colantuono, C., Termolino, P., Palomba, E., Monticolo, F., Benvenuto, G., Foscari, A., Esposito, A., Marti, L., De Lorenzo, G., Vega-Muñoz, I., Heil, M., Carteni, F., Bonanomi, G., and Mazzoleni, S. (2021).
Arabidopsis thaliana Response to Extracellular DNA: Self Versus Nonself Exposure. *Plants* 10, 1744.

Council of the European Union, 2018.

Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council Laying Down Rules on the Making Available on the Market of CE Marked Fertilizing Products and Amending Regulations (EC)No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009-Analysis of the Final Compromise Text With a View to Agreement. Available at: <http://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-15103-2018-INIT/en/pdf> (accessed December 20,2018).

De Long, J.R., Streminska, M.A., van der Salm, C., 2021.

Biostimulanten: soorten en werkingsmechanismen. Rapport / Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, No.WPR-1076.

Du Jardin, P. (2015).

Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* Vol. 196 Pages 3-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>

Escobar-Bravo R., C. Nederpel, S. Naranjo, H.K. Kim, M. J. Rodriguez, G. Chen, G. Glauser, K. A. Leiss, P. G. L. Klinkhamer (2019).

Ultraviolet radiation modulates both constitutive and induced plant defences against thrips but is dose and plant genotype dependent. *Journal of Pest Science*. Doi.org/10.1007/s10340-019-01166-w.

Eveleens, B., Blok, C., 2015.

Producteisen en marktsituatie voor compost in de substraatmarkt. Deeltaak voor Attero in de PPS Innovatieve Substraten. Wageningen UR Glastuinbouw. Report: GTB-5074, Bleiswijk.

Eveleens, B., van Winkel, A., and Blok C., 2021.

Wood fiber in pot plant culture; peat replacement up to 50% in volume? Publisher: International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium Pages: 165-174 DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1317.20 .

Fryda, L. and Visser, R., 2015.

Biochar for Soil Improvement: Evaluation of Biochar from Gasification and Slow Pyrolysis. *Agriculture* 5:1076-1115.

Fryda, L., Visser, R., and Schmidt, J., 2019.

Biochar replaces peat in horticulture: Environmental impact assessment of combined biochar & bioenergy production. *Detritus* 5:132-149.

Fuchs, J.G., Hedrich, T., Hofer, V., Koller, M., Oberhaensli, T., Ribera Regal, J., Tamm, L., Thuerig, B., Schwarze, F.W.M.R., Herforth-Rahmé, J. 2017.

Development of disease-suppressive organic growing media. *Acta Horticulturae*. No.1164 pp.181-188

Gilardi, G., Pugliese, M., Gullino, M., Garibaldi, A. 2018.

Nursery treatments with resistant inducers, soil amendments and biocontrol agents for the management of the Fusarium wilt of lettuce under glasshouse and field conditions. *Journal of Phytopathology*. 167. 10.1111/jph.12778.

Graber E.R., Frenkel, O., Jaiswal A.K. and Elad Y., 2014.

How may biochar influence severity of diseases caused by soilborne pathogens? *Carbon Management* Vol. 5 Issue 2 Pages 169-183. DOI: 10.1080/17583004.2014.913360.

Gruda, N.S., 2020.

Increasing Sustainability of Growing Media Constituents and Stand-Alone Substrates in Soilless Culture Systems. *Agronomy* 9:298.

Grunert, O., Robles-Aguilar, A.A., Hernandez-Sanabria, E., Schrey, S.D., Reheul, D., Van Labeke, M.C., Vlaeminck, S.E., Vandekerckhove, T.G.L., Mysara, M., Monsieurs, P., Temperton, V.M., Boon, N., and Jablonowski, N.D., 2019.

Tomato plants rather than fertilizers drive microbial community structure in horticultural growing media. *Sci Rep* 9:9561.

Grunert, O., Hernandez-Sanabria, E., Vilchez-Vargas, R., Jauregui, R., Pieper, D.H., Perneel, M., Van Labeke, M.-C., Reheul, D., and Boon, N., 2016a.

Mineral and organic growing media have distinct community structure, stability and functionality in soilless culture systems. *Scientific Reports* 6:18837.

Grunert, O., Reheul, D., Van Labeke, M.C., Perneel, M., Hernandez-Sanabria, E., Vlaeminck, S.E., and Boon, N., 2016b.

Growing media constituents determine the microbial nitrogen conversions in organic growing media for horticulture. *Microb Biotechnol* 9:389-399.

Grunert, O., Hernandez-Sanabria, E., Perneel, M., Van Labeke, M.C., Reheul, D., and Boon, N., 2014.

'Organic growing medium inhibits the crazy roots syndrome: a case study with solanum melongena'. *Commun Agric Appl Biol Sci* 79:51-56.

- Helmes R., Ponsioen T., Blonk H., Vieira M., Goglio P., van den Linden R., Gual Rojas P., Kan D., Verweij-Novikova I., 2020.
Hortifootprint Category Rules; Towards a PEFCR for horticultural products. Wageningen, Wageningen Economic Research, Report 2020-041.
- Hermenau, R., Kugel, S., Komor, A.J., Hertweck, C. 2020.
Helper bacteria halt and disarm mushroom pathogens by linearizing structurally diverse cyclolipopeptides. *Proceedings of the National Academy of Sciences* Sep 117 (38) 23802-23806; DOI: 10.1073/pnas.2006109117
- HortiDaily, 2019.
World Greenhouse Vegetable Statistics updated for 2019. 2 January 2019.
- Jackson, B., 2021.
The current state of substrates in 2021. *GrowerTalks* 1-1-2021.
- Jaiswal, A.K., Elad, Y., Graber, E.R., Frenkel, O. 2014.
Rhizoctonia solani suppression and plant growth promotion in cucumber as affected by biochar pyrolysis temperature, feedstock and concentration. *Soil Biol. Biochem.*, 69 (2014), pp. 110-118,
- Järvenpää, P., Grunert O., and Boon, N., 2021.
Microbially managed growing media for a decreased environmental footprint. *Acta hortic.* 1317, Pages: 389-396. DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1317.45
- Jiang, B., 2006.
The Effect of Trace Elements on the Metabolism of Methanogenic Consortia p. 122. Wageningen University,, Vol. PhD. Wageningen University,, Wageningen.
- Kleiber, T., Markiewicz, B., and Niewiadomska, A., 2012.
Organic substrates for intensive horticultural cultures: Yield and nutrient status of plants, microbiological parameters of substrates. *Pol. J. Environ. Stud.* 21:1261-1271.
- Koohakan, P., Ikeda, H., Jeanaksorn, T., Tojo, M., Kusakari, S.-I., Okada, K., and Sato, S., 2004.
Evaluation of the indigenous microorganisms in soilless culture: occurrence and quantitative characteristics in the different growing systems. *Scientia Horticulturae* 101:179-188.
- Kromwijk, J., van Noort, F., Ludeking, D., Ijdo, M., Blok, C., 2012.
Vermindering wortelproblemen *Miltonia* (Miltoniopsis). Report Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk, the Netherlands.
- Liu, H., Xiong, W., Zhang, R., Hang, X., Wang, D., Li, R., and Shen, Q., 2017.
Continuous application of different organic additives can suppress tomato disease by inducing the healthy rhizospheric microbiota through alterations to the bulk soil microflora. *Plant and Soil*.
- LNV, 2021.
Kamerbrief voortgang enkele LNV-onderwerpen en uitvoering moties en toezeggingen. BPZ / 21287096.
- Lugtenberg, B., 2015.
Principles of Plant-Microbe Interactions : Microbes for Sustainable Agriculture. Springer International Publishing, Cham.
- Montagne, V., Capioux, H., Barret, M. *et al.* 2017.
Bacterial and fungal communities vary with the type of organic substrate: implications for biocontrol of soilless crops. *Environ Chem Lett* 15: 537–545 <https://doi.org/10.1007/s10311-017-0628-0>
- Montagne, V., Capioux, H., Cannavo, S. *et al.* 2016.
Protective effect of organic substrates against soil-borne pathogens in soilless cucumber crops. *Scientia Horticulturae* Vol. 206 Pages 62-70.
- Montanari, M., Ventura, M., Innocenti, G. 2004.
Exploitation of spent mushroom compost in biological control against *Fusarium* wilt disease. *IOBC/WPRS Bull.* 27: 247-250.
- Montgomery, D., and Bilké, A., 2016.
The Hidden Half of Nature: The Microbial Roots of Life and Health. W. W. Norton & Company, U.S.A. Book.
- Mouden, S., Bac-Molenaar, J.A., Kappers, I.F., Beerling, E.A.M., and Leiss, K.A. 2021.
Elicitor Application in Strawberry Results in Long-Term Increase of Plant Resilience Without Yield Loss. *Frontiers in Plant Science* 2021 Vol. 12. DOI: 10.3389/fpls.2021.695908.
- Park, S.J., Park, S.Y., Ryu, C.M., Park, S.H., Lee, J.K. 2015.
The role of AiiA, a quorum-quenching enzyme from *Bacillus thuringiensis*, on the rhizosphere competence. *J Microbiol Biotechnol.* 2008 Sep;18(9):1518-21. PMID: 18852506.

- Pascual, J.A., Ceglie, F., Tuzel, Y. *et al.* 2018.
Organic substrate for transplant production in organic nurseries. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 38, 35.
<https://doi-org.ezproxy.library.wur.nl/10.1007/s13593-018-0508-4>
- Postma J., and Schilder M.T., 2015.
Enhancement of soil suppressiveness against *Rhizoctonia solani* in sugar beet by organic amendments. *Applied Soil Ecology* Vol. 94 Pages 72-79. DOI: 10.1016/j.apsoil.2015.05.002
- Postma, J., Nijhuis, E. 2019.
Pseudomonas chlororaphis and organic amendments controlling *Pythium* infection in tomato. *European Journal of Plant Pathology*. 10.1007/s10658-019-01743-w.
- RHP, 2020.
Systeem van RHP normen en eisen voor potgrondwinning, handel en verwerking.
- Ricci, M., Tilbury, L., Daridon, B., Sukalac, K., 2019.
General Principles to Justify Plant Biostimulant Claims. *Front Plant Sci* Vol. 10 Issue 494 Pages 494. DOI: 10.3389/fpls.2019.00494.
- Rodzkin, A., Kundas, S., and Wichtmann, W., 2017.
Life cycle assessment of biomass production from drained wetlands areas for composite briquettes fabrication. *Energy Procedia* 128:261-267
- Quantis, 2012.
Comparative life cycle assessment of horticultural growing media based on peat and other growing media constituents.
- Sánchez-Monedero, M.A., Cayuela, M.L., Sánchez-García, M., Vandecasteele, B., D'Hose, T., López, G., Martínez-Gaitán, C., Kuikman, P.J., Sinicco, T., and Mondini, C., 2019.
Agronomic Evaluation of Biochar, Compost and Biochar-Blended Compost across Different Cropping Systems: Perspective from the European Project FERTIPLUS. *Agronomy* 9:225.
- Schmilewski, G., 2014.
Producing growing media responsibly to help sustain horticulture. *Acta Hort* 1034:299-305.
- Sible, C. N. Seebauer J. R. and Below F. E., 2021.
Plant Biostimulants: A Categorical Review, Their Implications for Row Crop Production, and Relation to Soil Health Indicators. *Agronomy* 2021 Vol. 11 Issue 7 Pages 1297. doi:10.3390/agronomy11071297 .
- Stanghellini, C., van 't Ooster, B., and Heuvelink, E., 2019.
Greenhouse horticulture. Technology for optimal crop production. Wageningen Academic Publishers Wageningen.
- Streminska, M.A, 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. (Rapport WPR 943)
- Van Dam, A-M, De Vlaam, C., 2022.
Leve de bodem. Een gezonde basis voor elke tuin. Boek, KNNV, Zeist. ISBN 9789050118323.
- Vandecasteele, B., Muylle, H., De Windt, I., Van Acker, J., Ameloot, N., Moreaux, K., Coucke, P., Debode, J. 2018.
Plant fibers for renewable growing media: potential of defibration, acidification or inoculation with biocontrol fungi to reduce the N drawdown and plant pathogens. *Journal of Cleaner Production*, 203, 1143-1154.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.167>
- Vandecasteele, B., Blindeman, L., Amery, F., Pieters, C., Ommeslag, S., Van Loo, K., *et al.* 2020.
Grow - Store - Steam - Re-peat: Reuse of spent growing media for circular cultivation of Chrysanthemum. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 276, Pages 124-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124128>
- Vandecasteele, B., Van Loo, K., Ommeslag, S., Vierendeels, S., Rooseleer M., and Vandaele E., 2022.
Sustainable Growing Media Blends with Woody Green Composts: Optimizing the N Release with Organic Fertilizers and Interaction with Microbial Biomass. *Agronomy* 2022 Vol. 12 Issue 2 Pages 422. doi:10.3390/agronomy12020422
- Van den Elsas, Janson, J.K., Trevors, J.T., 2006.
Modern Soil Biology. Taylor & Francis Inc., London, UK.
- Van der Lans, C., Vermeulen, P., Raaphorst, M., and Spruijt, J. 2013.
Duurzaamheidsvergelijking van biologische teelt en teelt op natuurlijk substraat in de glastuinbouw. Duurzaamheidsvergelijking met de LCA methode.
- Van Hooijdonk, A., 2022.
Poep en Plas. Grootste lek is lastiger te dichten. *De Vork*, 9, 2, p70-77.

- Van Lenteren, J. C., Bolckmans, K., Kohl, J., Ravensberg, W. J., Urbaneja, A. 2018.
Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. *BioControl* 63: 39-59
- Van Staalduinen, J. and Verhagen, H., 2020.
Organic fertilisers in substrates can produce surprising results. In *Greenhouses* 4:52-53.
- 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*. Under review.
- Veeken, A., Blok, W. J., Moolenaar, S. M., and Grigatti, M., 2007.
Standardized determination and classification of compost organic matter stability. Abstract from 2nd BOKU Waste Conference, Vienna, Austria.
- Verhagen, J.B.G.M., 2013.
Oxygen diffusion in relation to physical characteristics of growing media. *Acta Hort.* 2013 Vol. 1013 Pages 313-318. DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.1013.38
- Verhagen, van den Akker, Blok, Diemont, Joosten, Schouten, Schrijver, Verweij and Wösten, 2009.
Climate Change. Scientific Assessment and Policy Analysis. WAB 500102 027. Peatlands and carbon flows. Outlook and importance for the Netherlands. In: W. PRI, the Netherlands (ed.). PRI, Wageningen, the Netherlands.
- Vestberg, M., Kukkonen, S., Rantala, S., Tuohimetsä, P., Setälä, H., *et al.* 2011.
Suppressiveness of Finnish Commercial Compost against Soil Borne Disease. *Acta Horticulturae* Vol. 891 Pages 59-66.
- VPN, 2020.
Een sterke, onmisbare basis. Beleidsagenda (2020-2025) van de VPN.
- Waisel, Y., Eshel, A., Beeckman T., and Kafkafi, U., 2002.
Plant Roots: The Hidden Half, Third Edition. Book. Taylor & Francis, Abingdon-on-Thames, Oxfordshire United Kingdom
- Zhou, D., Meinke, H., Wilson, M., Marcelis, L.F.M., and Heuvelink, E., 2021.
Towards delivering on the sustainable development goals in greenhouse production systems. *Resour. Conserv. Recycl.* 169.

Bijlage 1 Longlist

Tabel B1.1

Lijst met teeltmedia exclusief composten/organische reststromen. De lijst bevat verder synoniemen, een schatting van het in Nederland verhandelde volume in 2020 (ongeveer 1.7 Mm³ professionele groeimedia, 1.0 Mm³ groeimedia voor consumenten, 0.3 Mm³ dekaarden en 0.3 Mm³ grondverbetersaars) en een aanduiding voor de bronnen waarin deze media genoemd zijn: met kruisjes voor handboeken (manuals, aangeduid met M1-M4) en Review artikelen (aangeduid met R1-R4) en losse artikelen (aangeduid met een volgnummer).

Groep			Afkeur	Groeimedium	Synoniemen	Geschat Mm ³ /j in										
						NL	M1	M2	M3	M4	R1	R2	R3	R4	Nr	
1		1		Steenwol		0.50	x	x	x	x	x	x				
2		2		NFT	Waterngoten	0.02	x					x				
2		2		DFT	Basins, ponds, raft culture	0.40	x					x				
2		2		Aeroponics	Mist, spray culture	0.00	x					x				
2		2		Ebb and Flow		0.75	x								1	
1		1		Sand		0.05	x	x		x	x					
1		1		Tuff	Pouzolana, lapillo, pyroclasts	0.00	x	x	x	x	x	x				
1		1		Pumice		0.01	x	x	x	x	x	x				
1		1		Glaswol		0.00	x			x						
1		1		Glaskorrels		0.00	x								2	
1		1		Perliet		0.03	x	x	x	x	x	x				
1		1		Vermiculiet		0.00	x	x	x	x	x					
1		1		Kleikorrel		0.10	x	x	x	x	x	x				
1		1		Zeoliet		0.00	x	x	x	x	x					
1		1		Glasschuim		0.00	x								3	
3		3		Fenolschuim	Fenolformaldehyde, oasis	0.02	x	x								
3		3		Polyurethaanschuim		0.00	x	x	x	x						

Groep	Afkeur	Groeimedium	Synoniemen	Geschat Mm³/j in										
				NL	M1	M2	M3	M4	R1	R2	R3	R4	Nr	
3		Polystyreenschuim/granulaat		0.00	x	x								
3		Ureumformaldehyde		0.00		x								4
3		Polyestervezels		0.00	x									
4		Veen		0.75	x	x	x	x	x	x	x		x	
4,5		Schors	Bark, soft wood pine bark	0.28	x	x	x	x	x	x	x		x	
4		Kurk		0.00										
4		Kokosgruis	Coir, pith, cocopeat, coir meal, coir dust, others	0.20	x	x	x	x	x	x	x		x	
4		Kokosvezel		0.00	x						x		x	
4		Kokoschips		0.10	x		x				x		x	
4		Houtvezel	Dennen en sparrenhout(resten)	0.08	x	x	x	x	x	x	x			
4		Houtchips		0.00	x				x		x			
4		Zaagsel		0.00	x		x		x		x			
4		Rijstekaf		0.00	x	x							x	5
1,4		Plaggenaarde*		0.00	x	x	x	x	x	x	x		x	
5		Composten		0.00	x						x		x	
3		Rubber(banden)granulaat		0.00	x									6
1		Klei		0.00		x	x							
4		Sphagnum peat moss	Peat moss, paludiculture	0.04						x	x			
3		Polyacrylaatvezel		0.00										7
3		Pevalgranulaat		0.00										8
Totaal				3.32										

Groepsnummers: 1 = Mineraal; 2 = Water; 3 = Synthetisch organisch; 4 = Plantaardig organisch; 5 = Plantaardig organisch gestabiliseerd; 6 = Dierlijk organisch; 7 = Dierlijk organisch gestabiliseerd; 8 = overig.

*Plaggenaarde. Deze term slaat wat breder op beheersresten uit heideachtige natuurgebieden. Andere beheersresten uit natuurgebied als maaisels, riet-stro, lisdodde, varens en hout, staan in Tabel B2. In Vlaanderen maakt men zelfs onderscheid tussen heidechopper (bevat minder aarde) en heideplagsel (bevat meer aarde): in Vandecasteele, B., Pot, S., Maenhout, K., Delcour, I., Vancampenhout, K., and Debode, J., 2021. Acidification of composts versus woody management residues: Optimizing biological and chemical characteristics for a better fit in growing media. Journal of Environmental Management 2021 Vol. 277 Pages 111444. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111444>.

Tabel B1.2

Legenda Literatuur bij Tabel 1.

M1	Raviv, M., Lieth, J.H., and Bar-Tal, A., 2019. Soilless Culture: Theory and Practice. Second Edition., Amsterdam, the Netherlands.
M2	Zaccheo, P. and Cattivello, C., 2009. I substrati di coltivazione. Aspetti teorici ed applicativi di un fattore chiave delle produzioni in contenitore. Edagricole – New Business Media, Bologna, Italy.
M3	Sonneveld, C. and Voogt, W., 2009. Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer.
M4	Savvas, D. and Passam, H., 2002. HYDROPONIC PRODUCTION OF VEGETABLES AND ORNAMENTALS.
M5	Urrestarazu Gavilán, M., 2004. Tratado de cultivo sin suelo.
R1	Gruda, N.S., 2020. Increasing Sustainability of Growing Media Constituents and Stand-Alone Substrates in Soilless Culture Systems. Agronomy 9:298.
R2	Blok, C., Jackson, B.E., Guo, X., de Visser, P.H.B., and Marcelis, L.F.M., 2017. Maximum Plant Uptakes for Water, Nutrients, and Oxygen Are Not Always Met by Irrigation Rate and Distribution in Water-based Cultivation Systems. Frontiers in Plant Science 8:562.
R3	Schmilewski, G., 2017. Growing media constituents used in the EU in 2013. Acta Hort 1168:85-92.
R4	Barrett, G.E., Alexander, P.D., Robinson, J.S., and Bragg, N.C., 2016. Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems – A review. Scientia Horticulturae 212:220-234.
1	Giacomelli, G.A., van Weel, P.A., and Blok, C., 2020. Ebb and flood nutrient delivery system for sustainable automated crop production. Acta Hort 1296:1129-1136.
2	Van Goor, B., 1989. Rootsystems as they are influenced by the circumstances under which the crop grows, especially in soilless culture. Internal report 25.
3	Park, J.E., An, C.G., Jeong, B.R., and Hwang, S.J., 2012. Use of phenolic foam as a medium for production of plug seedlings of Paprika. Korean J. Horticult. Sci. Technol. 30:34-41.
4	Nichols, M., 2013. Aquaponics: Myth or Magic. Practical Hydroponics & Greenhouses:14-19.
5	Evans, M.R., Buck, J.S., and Sambo, P., 2011. The pH, electrical conductivity, and primary macronutrient concentration of sphagnum peat and ground parboiled fresh rice hull substrates over time in a greenhouse environment. HortTechnology 21:103-108.
6	Evans, M.R. and R.L. Harkess. 1997. Growth of Pelargonium ·hortorum and Euphorbia pulcherrima in rubber-containing substrates. HortScience 32:874-877.
7	Hermann, M., 2010. Opportunities for biomaterials. Economic, environmental and policy aspects along their life cycle. University of Utrecht, Utrecht.
8	Leyh, R. and Blok , C. 2018. Horticultural Perspective for EVAL by Kuraray. Phase 2 : Cultivation test and determination of the irrigation strategy. Greenhouse Horticulture, Wageningen.

Bron			Afkeur			Groeimedium			Synoniemen			Geschat Mm³/j in										
												NL	M1	M2	M3	M4	R1	R2	R3	R4	Nr	
4		Stro										0.00	x	x								
7		Anaerobic digestaat										0.01	x				x					
5		Biochar (many species)										0.00	x				x	x				
4		Beukenblad										0.00		x							8	
5		Humus										0.00				x					9	
5		Hydrochar										0.00					x				10	
7		Aerobic digestate										0.00					x				11	
4		Zeegrasresten										0.00					x			x		
4		Nootschalen										0.00					x				12	
4		Gepelde maiskolven										0.00					x				13	
8		Rivierslib										0.00					x			x		
8		Waterzeefvangst										0.00								x	14	
4		Koffiedrab										0.00					x				15	
5		Vermicompost										0.00					x				16	
8		Slumgum (bijennestresidue)										0.00					x				17	
4		Amandelnootschalen										0.00					x				17	
4		Olifantengras										0.00					x			x	18	
4		Suikerrietstengels en blad										0.00								x	19	
4		Switchgras										0.00					x			x		
4		Pijlriet										0.00					x				20	
4		Rietgras										0.00					x				18	
4		Heide en varenresten										0.00								x	10	
4		Wilg										0.00					x			x		
8		Municipal Solid Waste										0.00								x	21	

Bron	Afkeur	Groeimedium	Synoniemen	Geschat Mm³/j in									
				NL	M1	M2	M3	M4	R1	R2	R3	R4	Nr
6		Paardenmest		0.00								x	22
4		Hazelhooischalen		0.00								x	23
4		Tuinbouwplantenresten		0.00									24
4		Grasvezelresten		0.00								x	25
7		Digestaat van mest		0.01									26
4		Cacaoverwerkingsafval		0.00									27
4		Hennep		0.00									28
4		Vlas		0.00									29
8		Coal mine spoil		0.00									15
8		Blast furnace gravel		0.00									15
8		Plastic afval wel/niet bewerkt		0.00									17
4	2	Olie palm vezelresten		0.00									30
6		Frass	Insectenschalen	0.00									31
4		Maaisel uit wateromgeving	Riet (Phragmites), lisdodde (Tiphia) ed.	0.00									
Totaal				0.06									

Groepsnummers: 1 = Mineraal; 2 = Water; 3 = Synthetisch organisch; 4 = Plantaardig organisch; 5 = Plantaardig organisch gestabiliseerd; 6 = Dierlijk organisch; 7 = Dierlijk organisch gestabiliseerd; 8 = overig.

Tabel B1.4

Legenda Literatuur bij Tabel 3.

M1	Raviv, M., Lieth, J.H., and Bar-Tal, A., 2019. Soilless Culture: Theory and Practice. Second Edition., Amsterdam, the Netherlands.
M2	Zaccheo, P. and Cattivello, C., 2009. I substrati di coltivazione. Aspetti teorici ed applicativi di un fattore chiave delle produzioni in contenitore. Edagricole – New Business Media, Bologna, Italy.
M3	Sonneveld, C. and Voogt, W., 2009. Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer.
M4	Savvas, D. and Passam, H., 2002. HYDROPONIC PRODUCTION OF VEGETABLES AND ORNAMENTALS.
M5	Urrestarazu Gavilán, M., 2004. Tratado de cultivo sin suelo.
R1	Gruda, N.S., 2020. Increasing Sustainability of Growing Media Constituents and Stand-Alone Substrates in Soilless Culture Systems. Agronomy 9:298.
R2	Blok, C., Jackson, B.E., Guo, X., de Visser, P.H.B., and Marcellis, L.F.M., 2017. Maximum Plant Uptakes for Water, Nutrients, and Oxygen Are Not Always Met by Irrigation Rate and Distribution in Water-based Cultivation Systems. Frontiers in Plant Science 8:562.
R3	Schmilewski, G., 2017. Growing media constituents used in the EU in 2013. Acta Hort 1168:85-92.
R4	Barrett, G.E., Alexander, P.D., Robinson, J.S., and Bragg, N.C., 2016. Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems – A review. Scientia Horticulturae 212:220-234.
R5	Kennard, N., Stirling, R., Prashar, A., and Lopez-Capel, E., 2020. Evaluation of Recycled Materials as Hydroponic Growing Media. Agronomy 10:1092.
R6	Waller, P. 2006. A review of peat usage and alternatives for commercial plant production in the UK Horticultural Development Council, London, United Kingdom.
R7	NEN, 1999. Nederlandse praktijkrichtlijn NPR-CR 13456. Bodemverbeterende middelen en groeimedia- Labelling, specifications and product schedules.
1	Hashemimajd, K., Kalbasi, M., Golchin, A., Knicker, H., Shariatmadari, H., and Rezaei-Nejad, Y., 2006. Use of Vermicomposts Produced from Various Solid Wastes as Potting Media. European journal of horticultural science 71:21-29.
2	Rietberg, P., Lusk, B., Visser, A., and Kuikman, P. 2018. Handleiding goed koolstofbeheer. Louis Bolk Institute.
3	Postma, J. and Schilder, M.T., 2015. Enhancement of soil suppressiveness against Rhizoctonia solani in sugar beet by organic amendments. Applied Soil Ecology 94:72-79.
4	Böhme, M., Schevchenko, J., Pinker, I., and Herfort, S., 2008. Cucumber grown in sheepwool slabs treated with biostimulator compared to other organic and mineral substrates. Acta Hort 779:299-306.
5	Gonani, Z., Riahi, H., and Sharifi, K., 2011. Impact of using leached spent mushroom compost as a partial growing media for horticultural plants. Journal of Plant Nutrition 34:337-344.
6	Bilderback, T.E., W.C. Fonteno, and D.R. Johnson. 1982. Physical properties of media composed of peanut hulls, pine bark and peatmoss and their effect on azalea growth. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107:522-525.

- 7 Vaughn, S.F., Deppe, N.A., Palmquist, D.E., and Berhow, M.A., 2011. Extracted sweet corn tassels as a renewable alternative to peat in greenhouse substrates. *Ind. Crops Prod.* 33:514-517.
- 8 Akhter, A., Hage-Ahmed, K., Soja, G., and Steinkellner, S., 2015. Compost and biochar alter mycorrhization, tomato root exudation, and development of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Frontiers in Plant Science* 6.
- 9 Kierkels, T., Blok, C., and Heuvelink, E., 2021. Humusdelen stimuleren bodemleven, beschikbaarheid mineralen en groei. Veel onbegrip over humusonderdelen als biostimulanten. *OG* 5:13-15.
- 10 Fornes, F., Belda, R.M., Fernandez de Cordova, P., and Cebolla-Cornejo, J., 2017. Assessment of biochar and hydrochar as minor to major constituents of growing media for containerized tomato production. *J. Sci. Food Agric* 97:3675-3684.
- 11 Blok, C. and Broeze, J., 2008. Application of high density digestate of pig manure in peat mixtures for use as potting soil. *ORBIT Conference Proceedings* 6:1466-1471.
- 12 Dede, O.H., Dede, G., Ozdemir, S., and Abad, M., 2011. Physicochemical characterization of hazelnut husk residues with different decomposition degrees for soilless growing media preparation. *Journal of Plant Nutrition* 34:1973-1984.
- 13 Vaughn, S.F., Deppe, N.A., Palmquist, D.E., and Berhow, M.A., 2011. Extracted sweet corn tassels as a renewable alternative to peat in greenhouse substrates. *Ind. Crops Prod.* 33:514-517.
- 14 Rijkswaterstaat. 2020. Afvalverwerking in Nederland, gegevens 2018.
- 15 NEN, 1999. Nederlandse praktijkrichtlijn NPR-CR 13456. Bodemverbeterende middelen en groeimedia- Labelling, specificaties and product schedules.
- 16 Surridge, V.A., Lafreniere, C., Dixon, M., and Zheng, Y., 2010. Benefits of vermicompost as a constituent of growing substrates used in the production of organic greenhouse tomatoes. *HortScience* 45:1510-1515.
- 17 Kennard, N., Stirling, R., Prashar, A., and Lopez-Capel, E., 2020. Evaluation of Recycled Materials as Hydroponic Growing Media. *Agronomy* 10:1092.
- 18 Vandecasteele, B., Muylle, H., De Windt, I., Van Acker, J., Ameloot, N., Moreaux, K., Coucke, P., and Debode, J., 2018. Plant fibers for renewable growing media: Potential of defibration, acidification or inoculation with biocontrol fungi to reduce the N drawdown and plant pathogens. *Journal of Cleaner Production* 203:1143-1154.
- 19 Pruksakit, W. and Patumsawad, S., 2016. Hydrothermal Carbonization (HTC) of Sugarcane Stranded: Effect of Operation Condition to Hydrochar Production. *Energy Procedia* 100:223-226.
- 20 Wang, J., Odinga, E.S., Zhang, W., Zhou, X., Yang, B., Waigi, M.G., and Gao, Y., 2019. Polyaromatic hydrocarbons in biochars and human health risks of food crops grown in biochar-amended soils: A synthesis study. *Environment International* 130:104899.
- 21 Termorshuizen, A.J., van Rijn, E., van der Gaag, D.J., Alabouvette, C., Chen, Y., Lagerlöf, J., Malandrakis, A.A., Paplomatas, E.J., Rämert, B., Ryckeboer, J., Steinberg, C., and Zmora-Nahum, S., 2006. Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: Variability in pathogen response. *Soil Biology and Biochemistry* 38:2461-2477.
- 22 Wever, G., van der Burg, A.M., and Straatsma, G., 2005. Potential of adapted mushroom compost as a growing medium in horticulture. *Acta Hort.* 697:171-177.
- 23 Dede, O.H., Dede, G., Ozdemir, S., and Abad, M., 2011. Physicochemical characterization of hazelnut husk residues with different decomposition degrees for soilless growing media preparation. *Journal of Plant Nutrition* 34:1973-1984.

24	Schettini, E., Santagata, G., Malinconico, M., Immirzi, B., Scarascia Mugnozza, G., and Vox, G., 2013. Recycled wastes of tomato and hemp fibres for biodegradable pots: Physico-chemical characterization and field performance. <i>Resour. Conserv. Recycl.</i> 70:9-19.
25	Dresbøll, D.B., 2008. Structural quality of composted plant residues to be used as an organic growing medium. <i>Acta Hort.</i> 779:329-332.
26	Ehlert, P. and Oenema, O. 2010. Informatieblad mest van bedreiging naar kans. Biochars van dierlijke mest.
27	van Os, G., van der Lans, A., and van der Bent, J. 2015. Alternatieve fosfaat-arme organische materialen voor de bollenteelt. Effect op organisch stof gehalte en bodemvruchtbaarheid. Business Unit Bloembollen, Boomkwekerij en Fruit
29	Waller, P. 2006. A review of peat usage and alternatives for commercial plant production in the UK Horticultural Development Council, London, United Kingdom.
30	Jayasinghe, G.Y., Tokashiki, Y., Kitou, M., and Kinjo, K., 2008. Oil palm waste and synthetic zeolite: an alternative soil-less growth substrate for lettuce production as a waste management practice. <i>Waste Management Research</i> 26:559-565.
31	Setti, L., Francia, E., Pulvirenti, A., Gigliano, S., Zaccardelli, M., Pane, C., Caradonia, F., Bortolini, S., Maistrello, L., and Ronga, D., 2019. Use of black soldier fly (<i>Hermetia illucens</i> (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae processing residue in peat-based growing media. <i>Waste Management</i> 95:278-288.

Bijlage 2 Shortlist

Tabel B2.1

De lijst met groeimedia die voor Nederland relevant zijn in de periode tot 2030. In de eerste kolom wordt aangeduid aan welke criteria voor een relevant groeimedium in Nederland tot 2030 niet voldaan wordt. Dat deze materialen toch opgenomen zijn betekent dat er een afwijkende keuze is gemaakt (verantwoording in de tekst). Kolom twee geeft een omschrijving van het materiaal, kolom drie het geschatte verbruik in Mm³ per jaar in Nederland.

Afkeur	Groeimedium	Geschat Mm ³ /j in NL
	Steenwol	0.50
	NFT	
	DFT	
	Aëroponics	
	Ebb and Flow	
	Sand	0.05
	Tuff	0.00
	Pumice	0.01
	Perliet	0.03
	Vermiculiet	0.00
	Kleikorrel	0.10
	Zeoliet	0.00
	Fenolschuim	0.02
	Ureumformaldehyde	0.00
	Schors	0.28
	Kokosgruis	0.20
	Kokosvezel	0.00
	Kokoschips	0.10
	Houtvezel	0.08
	Houtchips	0.00
	Zaagsel	0.00
	Rijstekaf	0.00
	Composten	0.00
	Klei	0.00
	Sphagnum peat moss	0.04
	Park en snoeiafval	0.03
	Gebruikte dekaarde	0.02
1	Stro	0.00
10,11	Anaerobic digestaat	0.01
	Biochar (many species)	0.00
	Hydrochar	0.00

Afkeur	Groeimedium	Geschat Mm ³ /j in NL
11	Aerobic digestate	0.00
7	Vermicompost	0.00
7	Olifantengras	0.00
7	Wilg	0.00
	Grasvezelresten	0.00
	Digestaat van mest	0.01
1,7	Hennep	0.00
	Totaal	1.46

Bijlage 3 Specifieke gedetailleerde bronnenlijst

De Tabel hieronder is een kopie uit: Barrett, G.E., Alexander, P.D., Robinson, J.S., and Bragg, N.C., 2016. Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems – A review. *Scientia Horticulturae* 212:220-234.

In de tabel worden bronnen genoemd bij een aantal specifieke organische reststromen die met meer en minder succes ingezet zijn als (onderdeel van) groeimedia.

Table 1
Summary of reported novel organic materials from primary, waste and transformed waste streams which have investigated for use in soilless growing media. The rationale for material selection is also provided (where reported).

Material	References	Material Category	Published rationale for replacement
Almond shells	Urrestarazu et al. (2005), De Lucia et al. (2013), Moral et al. (2013)	Untransformed waste	Economic & environmental
Bluegrass residues	Manning et al. (1995)	Untransformed waste	Environmental
Bracken	Pitman and Webber (2013)	Transformed waste	Environmental
Brewery/Distillery waste	Bustamante et al. (2008), Prasad and Carlile (2009), NiChualain et al. (2011)	Transformed waste	Environmental
Corn/sweetcorn waste	Tzortzakakis and Economakis (2005), Altland (2010), Suo et al. (2011), Vaughn et al. (2011)	Untransformed & transformed waste	Economic & environmental
Cotton waste	Cole et al. (2005), Jackson et al. (2005), Warren et al. (2009), Zaller (2007)	Transformed waste	Economic & environmental
Dairy manure/cowpeat	Paul and Metzger (2005), Hidalgo et al. (2006), Lazcano et al. (2009), Krucker et al. (2010), Shober et al. (2010), Li et al. (2009); Shober et al. (2011)	Transformed waste	Economic & environmental
Gorse	Iglesias et al. (2008), Iglesias-Diaz et al. (2009)	Transformed waste	Economic & environmental
Hazelnut Husk	Özenç (2006), Dede et al. (2011)	Untransformed waste	Environmental
<i>Miscanthus</i>	Altland (2010); Altland and Locke (2011)	Primary	Economic
Municipal solid waste	Eklind et al. (2001); Cendón et al. (2008); Herrera et al. (2008); Ostos et al. (2008); Mañas et al. (2009); Wilson et al. (2009); Chrysargyris et al. (2013)	Transformed waste	Economic & environmental
Horse manure	Ball et al. (2000), Hidalgo and Harkess (2002)	Transformed waste	Environmental
Olive mill waste	Papafotiou et al. (2004), Keleşi and Tzortzakakis (2009), Raviv (2009), Sofiadou and Tzortzakakis (2012)	Transformed waste	Economic & environmental
Papermill waste	Chong et al. (1998), Campos Mota et al. (2009), Mañas et al. (2009)	Transformed waste	Environmental
Peanut Hulls	Bilderback et al. (1982), Flynn et al. (1995)	Untransformed waste	Economic
Pig Manure	Atiyeh et al. (2000), Atiyeh et al. (2001), Bachman and Metzger (2007), Riberio et al. (2007), Lazcano et al. (2009), Lazcano and Dominguez (2010)	Transformed waste	Economic & environmental
Pine Tree (fresh) ^a	Boyer et al. (2008), Boyer et al. (2012), Wright and Browder (2005), Fain et al. (2008), Wright and Jackson (2008), Wright et al. (2009), Jackson et al. (2010)	Untransformed waste	Economic & environmental
Poultry feather fiber	Evans (2004), Evans and Vance (2007)	Untransformed waste	Economic & environmental
Poultry manure	Flynn et al. (1995), Tyler et al. (1993), Eklind et al. (2001), Marble et al. (2010), Zoes et al. (2001), Zoes et al. (2011)	Transformed waste	Economic & environmental
Rice hulls	Sambo et al. (2008), Barreto and Jagtap (2006), Evans and Gachukia (2004), Evans and Gachukia (2007), Gómez and Robbins (2011), Locke et al. (2013)	Untransformed waste	Economic & environmental
River Waste	Di Benedetto et al. (2004), Di Benedetto and Petracchi (2006)	Untransformed waste	Environmental
Seaweed (<i>Posidonia</i>)	Castaldi and Melis (2004), Mininni et al. (2013), Montesano et al. (2014), Parente et al. (2014), Mininni et al. (2015)	Untransformed & transformed waste	Economic & environmental
Sewage Sludge	Mañas et al. (2009), Ostos et al. (2008), Topcuoglu (2011), López-López and López-Fabal (2013), Vecchiotti et al. (2013); Zawadziska and Salachna (2014), Hernández-Apaolaza et al. (2015)	Transformed waste	Economic & environmental
Spent mushroom compost	Chong et al. (1994), Wever et al. (2005), Medina et al. (2009), Topcuoglu (2011), Zhang et al. (2012)	Untransformed waste	Economic & environmental
Sugarcane Waste	Stoffella et al. (1996), Jayasinghe et al. (2010), Khomami and Moharam (2013), Webber et al. (2016)	Transformed Waste	Environmental
Switch grass(<i>Panicum virgatum</i> L.)	Altland and Krause (2009), Altland (2010)	Primary	Economic & environmental
Willow	Altland (2010)	Primary	Economic

^a Ground pine chips, *WholeTree* substrate, Clean chip residual and pine tree substrate.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen University & Research,
BU Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
www.wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-1170

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.