

# ONDERGRONDS GEZWAM

## Hoe bomen surfen op het *Wood Wide Web*

Nog maar een paar jaar geleden had slechts een enkeling van mycorrhizale schimmels gehoord. Nu lijkt iedereen – nou ja, binnen de permacultuur dan – het over deze bijzondere medestanders te hebben. Tijd om de bodem in te duiken en ze eens van dichtbij te bekijken!



De vliegenzwam is een wereldburger en een generalist, die een symbiose met loofbomen zoals berk, beuk, eiken, haagbeuk, lindes en met naaldbomen als dennen en sparren aangaat. Foto: Marc Siepman.

### Functiegroepen

Schimmels zijn micro-organismen die een ongelooflijke diversiteit aan functies vervullen. Veel mensen zullen misschien aan bedorven voedsel of aan witte paarden denken bij het horen van het woord 'schimmel', maar de doorgewinterde permatuinier snapt dat de wereld er heel anders uit zou zien zonder schimmels

en denkt eerst aan alle fantastische dingen die ze voor hem of haar doen. Er zijn waarschijnlijk (veel) meer dan een miljoen verschillende soorten: van microscopisch kleine eencellige schimmels – gisten – die ons ons dagelijks brood geven (of – voor de broodverlaters – bier) tot het grootste organisme op Aarde. Dat is de voor ons eetbare maar voor bomen dodelijke *Armillaria ostoyae*, in het Nederlands sombere honingzwam geheten. Een reusachtig exemplaar dat in Oregon, V.S. te vinden is, beslaat een oppervlakte van 965 hectare, weegt zo'n 600 ton en is 2400 jaar oud. Deze honingzwam is parasitair, maar veel andere schimmels zijn opruimers – ze zijn saprotroof – en zorgen ervoor dat organisch materiaal (dat uit dode bomen, planten en dieren bestaat) zich niet ophoopt. Ze ontbinden dood houtig materiaal door een mycelium te vormen – een zichtbaar netwerk van schimmeldraden – dat zuren en enzymen uitscheidt. Op deze manier komen saprotrofen aan de benodigde koolstof, die ze niet uit de atmosfeer kunnen halen omdat ze niet fotosynthetiseren. Mycorrhizale schimmels zijn in de regel niet saprotroof en moeten zich op een andere manier voeden. Daartoe gaan ze een symbiose aan: de inmiddels befaamde mycorrhiza. Dit artikel gaat over mycorrhizale schimmels; alle andere functiegroepen laat ik even buiten beschouwing.

### Wat mycorrhizae zijn

*Mycorrhiza* is de wetenschappelijke benaming van de symbiose tussen een mycorrhizale schimmel en de wortel van een plant (bomen inclusief). *Mycorrhiza* betekent schimmel, *rhiza* wortel. De letterlijke vertaling zou dus schimmelwortel

AUTEUR Marc Siepman

Marc Siepman is humist bij Gevoel voor humus (gevoelvoorhumus.nl) en geeft ongeveer twintig keer per jaar de cursus humisme (humisme.nl). Hij vertaalde twee boeken: *Het Bodemvoedselweb* (Jeff Lowenfels en Wayne Lewis) en *Bodem in Balans* (Phil Nauta).

### MET DANK AAN:

Birgit Albertsmeier

voor het aanleveren van achtergrondartikelen.

Gerrit Jan Keizer

voor het aanvullen en verbeteren van de tekst.

zijn, maar zo wordt de symbiose eigenlijk nooit genoemd. Toen 400 tot 450 miljoen jaar geleden de eerste voorlopers van de planten het land koloniseerden, konden ze moeilijk aan voedingsstoffen zoals fosfaat, stikstof en zwavel komen omdat hun wortels nauwelijks ontwikkeld waren en de bodems nog weinig organisch materiaal bevatten – waarschijnlijk is de symbiose toen al ontstaan en is dit altijd zo gebleven. Toch is het nog maar een goede honderd jaar bekend dat de schimmels rond de wortels van een plant geen schadelijke ziekte zijn, maar juist een bevorderlijke symbiont. Sinds de jaren zeventig wordt er weer meer onderzoek gedaan naar deze belangrijke functiegroep.

### Mycorrhizale schimmels helpen de plant – en andersom

De meeste mycorrhizale schimmels kunnen niet overleven zonder een plant die koolstof levert (die ze door middel van fotosynthese vastleggen – zie kader), maar mycorrhizale planten kunnen meestal ook niet overleven zonder een schimmel. Mycorrhizale schimmels vergroten het worteloppervlak van de plant met een factor 700 tot 1000 en beschermen de plant daarnaast tegen ziekten en eventuele gifstoffen – ook niet mis. Voorbeelden van door schimmels afgeleverde voedingsstoffen zijn fosfaat, zink, ijzer, koper, calcium, magnesium en mangaan. Fosfaat is de belangrijkste, omdat een plant daar maar moeilijk aan kan komen: fosfaten zitten anorganisch gebonden in de bodem (aan bijvoorbeeld calcium of ijzer) waardoor een plant ze niet meer op kan nemen. Om ze weer opneembaar te maken produceert een

schimmel chelators waaraan de fosfaten (en de andere voedingsstoffen) worden gebonden. Door dit proces, chelatie geheven, worden ze weer of beter opneembaar voor de plant. De voedingsstoffen worden door de schimmel zo nodig tijdelijk opgeslagen en op het juiste moment op de stoep van de plant afgeleverd.

#### Lekkende planten

Het is bekend dat planten voedingsstoffen nodig hebben om te groeien, maar minder bekend is dat een plant maar liefst 96% van zijn biomassa uit koolstofdioxide en water haalt – en dus maar 4% uit de bodem. Van de door middel van fotosynthese vastgelegde koolstof scheidt de plant tijdens zijn leven 30% tot vaak wel 80% uit via zijn wortels in de vorm van exudaten: koolhydraten, waaronder suikers, en eiwitten – in totaal duizenden verschillende substanties. Hiermee trekt hij micro-organismen aan naar zijn wortelzone (de rhizosfeer) die op hun beurt weer grotere organismen aantrekken, zoals bacterie- en schimmel-etende nematoden (aaltjes) en protozoa (zoals raderdiertjes, pantoffeldiertjes en amoeben). Deze eten de micro-organismen op en de overtollige voedingsstoffen worden weer uitgescheiden. Die zijn weer opneembaar voor de plant. Mycorrhizale schimmels kunnen ook profiteren van deze exudaten en dat doen ze dan ook.

#### Verschillende soorten

Er zijn duizenden verschillende soorten mycorrhizale schimmels en je kunt ze in verschillende groepen indelen. Je zult het vaakst te maken hebben met ecto- of endomycorrhizale schimmels. Ectomycorrhizale schimmels worden ook wel EM genoemd (niet te verwarren met Effectieve Micro-organismen) en groeien om de wortels van de plant heen. Ze vormen daar een beschermende mantel: het Hartig net (genoemd naar de negentiende-eeuwse Duitse bioloog Robert Hartig). Deze mantel isoleert de wortel volledig van zijn omgeving: alle stoffen die de plant binnenkomen, komen van de schimmel. Er is een enorme diversiteit aan ecto's, maar je treft ze slechts aan bij ongeveer 3% van de plantensoorten (43 plantenfamilies), allen bomen of struiken. Deze zijn echter zo veelvoorko-

mend dat ze een enorm landoppervlak beslaan. Ecto's gaan een symbiose aan met bijvoorbeeld beuk, eik, els, linde, berk, haagbeuk, populier, wilg, hazelaar, den, spar, lariks en ceder. Ze produceren meestal een zichtbaar bovengronds vruchtlichaam: de welbekende padden-

## Eén schimmel kan met wel twintig bomen tegelijk een symbiose hebben.

stoelen.

Endomycorrhizale schimmels dringen de wortel van de plant binnen en kunnen daar rechtstreeks voedingsstoffen uitwisselen. Ze groeien tussen de cellen van de opperhuid van de wortels van de plant in een boomvormige structuur (arbuskels), vandaar dat ze ook wel arbusculaire mycorrhizale schimmels of AM worden genoemd (*arbor* is Latijns voor boom). Zij gaan een symbiose aan met de meeste andere bomen (zoals walnoot), heesters, rozen, vaste planten, bollen, groenten en kruiden (in totaal ruim 200.000 soorten planten). Er is erg weinig diversiteit onder de endo's (er zijn ook maar iets van 240 soorten, terwijl het aantal soorten

ecto's rond de 20.000 ligt), maar je treft ze wel aan in ongeveer 90% van de mycorrhizale planten. Ectendomycorrhizale schimmels lijken op het oog ectomycorrhizaal te zijn, maar dringen de wortels binnen alsof ze endomycorrhizaal zijn. Bij mensen noem je dat een identiteitscrisis, in de natuur heet dat biodiversiteit.

#### Glomaline

Endomycorrhizale schimmels zijn meestal afkomstig uit de orde *Glomerales*. Daarnaast komen er soorten van de geslachten *Endogone* en *Gigaspora* voor. De *Glomerales* produceren een soort superlijm, glomaline geheten, om hun schimmeldraden lekvrij te maken (anders zouden heel veel voedingsstoffen de bodem in verdwijnen). Die superlijm plakt natuurlijk niet alleen de schimmeldraden dicht, maar houdt ook bodemdeeltjes (zand, silt en klei) bij elkaar. Schimmels zijn daardoor essentieel voor een goede bodemstructuur. Ze zijn hoogstwaarschijnlijk de sleutel tot waterstabiele aggregaten, een kruimelstructuur in de bodem die bestand is tegen stromend water. Alsof dat niet genoeg is bestaat glomaline ook nog eens voor 30 tot 40% uit koolstof; ongeveer een derde van alle in de bodem opgeslagen koolstof zit in deze plakkerige substantie. Glomaline kan tientallen jaren in de bodem blijven, dus die koolstof is een flinke tijd



Fossiele mycorrhiza van 52 miljoen jaar oud in barnsteen (fossiele hars, ook wel amber genoemd). Foto: Alexander Schmidt / Universiteit van Göttingen.

uit de atmosfeer. Mogelijk is glomaline belangrijker in het klimaatvraagstuk dan humus, hoewel humus duizenden jaren stabiel kan blijven en voor 50% uit koolstof bestaat.

#### Nematodenvangende schimmels

Er zijn aaltjes (nematoden) die schimmels eten, maar verbazingwekkender is het dat er ook schimmels zijn die aaltjes eten. Dat is goed nieuws voor mensen die last hebben van worletekende aaltjes. Deze schimmels, die mycorrhizaal maar ook saprotroof kunnen zijn, hebben allerlei trucjes ontwikkeld waarmee ze aaltjes in de val lokken. De meest spectaculaire is misschien wel *Drechlerella anthonia*, die lasso's maakt van drie cellen die chemische stoffen uitscheiden. Die stoffen wekken bij de aaltjes de indruk dat ze de wortel van een plant binnendringen, maar ze worden vrij letterlijk in het ootje genomen. Zodra het aaltje de lasso binnendringt, pompt de schimmel een vloeistof in de cellen waardoor deze opzwellen en het aaltje wordt fijngeknepen. De schimmel dringt het aaltje binnen met zijn schimmeldraden en verteert de eiwitten in het aaltje: zo komt hij aan stikstof. Er zijn ook schimmels die kleefstoffen gebruiken (de gewone oesterzwam) of harpoenen afschieten (die heel toepasselijk harpoenzwammen heten). En er zijn sporen in de vorm van een kurkentrekker, waar een nematode zich in verslikt om vervolgens van binnenuit opgegeten te worden. Ook gezellig.

#### Bezettingsgraad

Het is niet zwart-wit: het is niet zo dat een plant of boom die een symbiose is aangegaan per definitie gezond is. Het gaat om de bezettingsgraad: hoe groter het oppervlak dat bezet is door een schimmel, hoe meer worteloppervlak een plant heeft en hoe beter hij aan voedingsstoffen en water kan komen. Het is trouwens prima mogelijk dat een plant of boom een symbiose aangaat met misschien wel vijftien verschillende schimmels. Het is zelfs mogelijk dat een boom tegelijkertijd een ecto- en een endomycorrhizale symbiose is aangegaan en dat een schimmel een ectomycorrhizale symbiose met de ene boom heeft en een endomycorrhizale symbiose heeft met een andere boom (en die hoeft niet eens van dezelfde soort te zijn). Eén schimmel kan met wel twintig bomen tegelijk een symbiose hebben. Zo ontstaan enorm complexe netwerken die een compleet bos met elkaar kunnen verbinden.

#### Zwammende bomen of bomende zwammen?

Bomen staan er zelden alleen voor. Zo heeft Suzanne Simard, boscoloog aan de Universiteit van Brits-Columbia, ontdekt dat papierberken via ectomycorrhizale schimmels koolstof sturen naar de zaailingen van naburige douglassparren. Dat doen ze met name als de sparren 's zomers in de schaduw staan; in het voorjaar en het najaar, als de berken geen blaadjes hebben om te fotosynthetiseren,

krijgen de berken koolstof van de sparren. Douglassparren die sterven, leveren via schimmels voedingsstoffen af aan naburige, gezonde bomen die daardoor een veel betere overlevingskans krijgen. Althans, mogelijk wil de schimmel gewoon zijn eigen hachje proberen te redden, maar hoe dan ook helpt deze eigenschap de successie naar een volwassen bos enorm. De wetenschap is nog maar net begonnen met het onderzoeken van dit complexe netwerk van schimmeldraden dat bomen met elkaar verbindt, maar ze hebben er in ieder geval wel een pakkende naam voor gevonden: het *Wood Wide Web*. En mocht je je nu afvragen of de film *Avatar* een kern van waarheid bevat: zeker! Het idee van een moederboom (logischerwijs meestal de oudste) die als een internetprovider voor de rest van het bos functioneert is correct. Het ziet er alleen niet zo flitsend uit als in de film. De informatie en de voedingsstoffen worden door de schimmeldraden verspreid. Informatie over bijvoorbeeld aanvallen door insecten, grazers of andere belagers wordt gedeeld, zodat de andere bomen op fenolen (bij bedektzadigen) of terpenen (bij coniferen) gebaseerde gifstoffen kunnen aanmaken waarmee ze zich kunnen verweren. Ook worden voedingsstoffen die in te grote mate aanwezig zijn op één plek verplaatst naar een plek waar een tekort aan die voedingsstof is. Mycorrhizale schimmels hebben dus een heel belangrijke balancerende functie.

#### Kopen of niet?

Het gekke met schimmels is dat hun sporen eigenlijk overal te vinden zijn (sommige zijn zo groot dat je ze met het blote oog kunt zien). De kans is dus groot dat ze in de bodem zitten, maar dat wil nog niet zeggen dat ze actief zijn. Schimmelsporen kunnen soms honderden jaren wachten tot de omstandigheden juist zijn. En helaas zijn de omstandigheden voor mycorrhizale schimmels niet vaak optimaal. Het kopen en gebruiken van mycorrhizale schimmels is geen garantie voor succes (zeker niet als er onlangs fungiciden gebruikt zijn of meststoffen zoals kippenmest).

## Fotosynthese

*Fotosynthese* betekent 'samenvoegen met licht'. Een plant, cyanobacterie of alg kan de energie van de zon benutten om koolstofdioxidemoleculen (CO<sub>2</sub>) samen te voegen met watermoleculen (H<sub>2</sub>O). De resulterende koolhydraten kan een plant op allerlei manieren inzetten om zijn eigen plantenlichaam op te bouwen (door er cellulose van te maken, bijvoorbeeld). Er wordt wel gezegd dat planten helemaal niet efficiënt zijn in vergelijking met een fotovoltaisch

zonnepaneel, maar zo'n paneel moet eerst geproduceerd worden. Daar gaat een hoop energie in zitten, terwijl planten zichzelf bouwen. Fotosynthese is cruciaal in het uit de atmosfeer halen van koolstof. Elk jaar halen fotosynthetiserende organismen 100 tot 115 miljard ton CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer en binden de koolstof in biomassa. Daarbij stoten ze helaas wel een afvalproduct uit: zuurstof (O<sub>2</sub>).



### Hoe kun je de symbiose helpen?

Ik snap dat je staat te popelen om je nieuwe vriendjes meteen te hulp te schieten, maar helaas zijn het vooral de dingen die je *niet* doet waar ze blij van worden.

- Mycorrhizale schimmels kunnen meestal geen houtig materiaal verteren, maar ze hebben er indirect toch baat bij als er houtig materiaal rond een boom ligt: de witrotters onder de afbraakschimmels ontbinden de lignine in het hout en dringen ook de bodem in. Daar verbeteren ze de structuur van de bodem. Omdat de schimmeldraden (hyfen) van nuttige schimmels tot wel zes keer zo dik kunnen zijn als die van schadelijke, bevat een bodem met een goede structuur relatief meer nuttige schimmels en kunnen ze de concurrentie met schadelijke beter aan. Bovendien functioneren mycorrhizale schimmels bij een specifieke pH. Als je jaar in, jaar uit de blaadjes onder een boom weghaalt, zal de pH te hoog worden doordat de schimmels verdwijnen (schimmels scheiden zuren uit om hun eten te verteren en verlagen dus de pH). De bodem kan ook te zuur worden (door bijvoorbeeld stikstofdepositie); in beide gevallen lijdt de symbiose eronder en kunnen de schimmels parasitair worden om toch aan koolstof te komen (strikt genomen is de symbiose eigenlijk een vorm van gebalanceerd parasitisme).

- De schimmeldraden zijn ontzettend kwetsbaar, dus elke bodembewerking schaadt ze, evenals het gebruik van kunstmest en pesticiden en het verdichten van de bodem met zware machines.
- Gebruik geen kippenmest of andere meststoffen met een hoog gehalte aan opneembaar fosfaat. De schimmels gaan er niet dood van, maar ze worden door de plant in toom gehouden omdat ze makkelijk aan fosfaten kunnen komen en de schimmel daar dus niet voor nodig hebben.
- Als je bij het planten van een plant of boom schimmelsporen wilt aanbrengen (gekocht of zelf verzameld), dan moeten ze, als ze eenmaal nat zijn geworden, binnen 24 uur in contact komen met de wortels van een geschikte plant, anders sterven ze. Ze kunnen namelijk niet zonder een symbiont overleven.

### Niet-mycorrhizale planten

Er zijn ook planten die hun niche hebben gevonden door juist géén symbiose aan te gaan, ze zijn niet-mycorrhizaal. Deze planten zijn flink in de minderheid: maar liefst 96% van de planten vormt juist wél een symbiose. De planten uit de kruisbloemenfamilie (*Cruciferae* of *Brassicaceae*), zoals broccoli, spruitkool, wittekool, bloemkool, boerenkool, mosterd en koolraap, doen dat gewoon niet

en houden de mycorrhizale schimmels zelfs bewust op afstand om te voorkomen dat ze gaan parasiteren (anti-mycorrhizaal zou dus eigenlijk een betere term zijn dan niet-mycorrhizaal). Deze planten werken samen met actinobacteriën om mycorrhizale schimmels op afstand te houden. Actinobacteriën komen in grote hoeveelheden voor in hete compost, dus dit type compost is zeer geschikt voor de kruisbloemenfamilie. Voor mycorrhizale planten is koude (wormen)compost beter. Bepaalde planten uit de amarantenfamilie (*Amarantaceae*), zoals bieten, snijbiet, quinoa en spinazie (maar niet de amarant), zijn ook niet-mycorrhizaal, maar of ze ook anti-mycorrhizaal zijn is niet zeker. Er zijn nog andere planten, zoals brandnetel, rabarber, boekweit, paardenbloem en postelein, die ook geen symbiose aangaan. En waarschijnlijk zijn er nog wel meer, maar heel veel zijn het er niet. De kans is groot dat je te maken hebt met een plant die wel degelijk een schimmel nodig heeft om te kunnen overleven.

### Nog lang niet uitgeleerd

Dit artikel is maar een heel globaal overzicht van de belangrijke functies die mycorrhizale schimmels vervullen. Het zal je nu in ieder geval niet meer verbazen dat er niet veel gespit wordt door permatuinders: de schimmeldraden zijn ontzettend kwetsbaar en worden bij elke bodembewerking in mootjes gehakt. Dat is een probleem voor ze, want ze kunnen zelfstandig niet overleven.

Wetenschappers ontdekken steeds weer nieuwe dingen, dus hopelijk zullen ze ons blijven verbazen met hun ontdekkingen. Uiteraard is er nu al veel meer bekend dan ik in dit korte artikel kwijt kon. Op internet kun je nog veel meer informatie vinden en uiteraard zijn er ook boeken over geschreven, zoals *De verborgen boom. Het boomsoort eigen ecosysteem van onze inheemse loof- en naaldbomen*. Een prachtig boek en geschreven door een échte expert: Gerrit Jan Keizer (naar eigen zeggen 'helemaal beschimmeld'). We raken nooit uitgeleerd! **S**



Endomycorrhizale schimmeldraden met sporen (de ronde bolletjes) De schimmeldraden zijn bedekt met een kleefstof, glomaline geheten, die zichtbaar is gemaakt met groene kleurstof. Foto: Sara Wright, USDA-ARS.