



De twee belangrijkste types van houtrot in bossen: witrot (links) en bruinrot (rechts).

De verborgen wereld van houtafbrekende schimmels

70 jaar ecologisch onderzoek

Dit is het tweede artikel in een serie over 70 jaar ecologisch onderzoek door het Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW). Dit keer vormen schimmels de rode draad. In de komende edities gaat het bijvoorbeeld over blauwalgen, vogelringen en bodemecologie. Meer over 70 jaar ecologie zie www.nioo.knaw.nl/nl/70.

Van alle afgestorven plantendelen is hout het lastigst om af te breken. Waarom lukt dat schimmels wel en welke problemen moeten ze daarbij oplossen? Dat zijn 'rotvragen' waarop het NIOO antwoorden heeft proberen te vinden. Het onderzoek heeft verrassende ontdekkingen opgeleverd. Die kunnen van nut zijn voor duurzaam bos- en natuurbeheer, duurzame landbouw en zelfs voor de ontwikkeling van nieuwe medicijnen.

tekst Wietse de Boer (NIOO-KNAW), foto's NIOO-KNAW

> Dood hout in bossen is een bron van leven. Door de afbraak van hout komen opgeslagen voedingsstoffen uiteindelijk weer ter beschikking voor een nieuwe generatie bomen. Met name schimmels gedijen goed op hout en breken het af. Veel van die schimmels vormen paddenstoelen, bijvoorbeeld op dode boomstronken, maar de daadwerkelijke afbraak gebeurt door schimmeldraden binnen in het hout. Daarom moet in het hout zelf onderzocht worden wat schimmeldraden doen en of daar ook andere organismen bij betrokken zijn.

Dit onderzoek is pas eind vorige eeuw goed op gang gekomen door de ontwikkeling van moleculair-biologische (DNA en RNA) en geavanceerde chemische technieken. De onderzoekstechnie-

ken geven een beter inzicht in hoe houtafbraak plaatsvindt, welke bijdrage dood hout levert aan de vastlegging van koolstof en wat mogelijke duurzame alternatieven zijn voor het tegengaan van ziektes in bomen.

Houtafbraak

Hout bestaat voornamelijk uit polymeren van suikers (cellulose en hemicellulose) en van aromatische verbindingen (lignine). De moeilijke afbreekbaarheid van hout wordt veroorzaakt door lignine, ook wel houtstof genoemd, dat als een beschermende laag om de andere polymeren ligt. Terwijl cellulose en hemicellulose afgebroken kunnen worden met enzymen, zijn voor de afbraak van lignine reactieve zuurstofradicalen nodig. Dat is de reden waarom hout in een zuurstofloze omgeving nauwelijks wordt afgebroken. De enige organismen die lignine volledig met zuurstofradicalen kunnen afbreken zijn zogenaamde witrotschimmels. Die heten zo omdat bij de afbraak van de lignine, die een bruine kleur heeft, het hout lichter van kleur wordt. Behalve witrot- bestaan er ook bruinrotschimmels. Die kunnen lignine niet volledig afbreken, maar wel aantasten en dat is voldoende om hun enzymen toegang te geven tot de suikerpolymeren. Door het verdwijnen van de suikerpolymeren wordt het hout steeds rijker aan het achterblijvende lignine en dus bruiner van kleur. Er ontstaat ook een kubusvormig scheurenpatroon. Dat is vaak goed te zien bij dode stammen van naaldbomen. Bijna alle wit- en bruinrotschimmels behoren tot de steeltjeszwammen (basidiomyceten) en dragen bij aan de diversiteit van paddenstoelen in het bos.

Territoriumdrift

Houtrotschimmels zijn vechters die geen indringers dulden in hun ingenomen houtteritorium. Aangezien schimmeldraden (hyfen) van verschillende soorten vanuit de bodem een groot stuk hout kunnen binnendringen, komen ze elkaar tegen. Om indringers dwars te zitten maken de

De houtafbraakproef in Lovenhorst. De aanleg van een plot met stamdelen van Amerikaanse eik in 2012 (links) en stamdelen van Amerikaanse eik in 2014 (midden). Een stamdeel en de grond daaronder worden meegenomen voor analyses in het lab.



In de doorgezaagde stammen van dood berkenhout zijn de territoria van wit- en bruinrotschimmels goed zichtbaar.



hyfen van houtrotschimmels melanine aan, die de tegenstander niet makkelijk kan afbreken. Bij een onbesliste strijd worden de grenzen met die opgehoopte melanine gemarkeerd en zijn territoria goed te zien. In houtsnijwerk kan dat prachtige patronen geven.

In een door de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) gefinancierd VENI-project (2012-2016) voor pas gepromoveerde onderzoekers heeft Annemieke van der Wal aanwijzingen gevonden dat gevechten tussen schimmelsoorten mogelijk een rol spelen bij hoe snel hout in bossen wordt afgebroken. Ze vergeleek de afbraaksnelheid van stronken van zomereik in Bergharen vijf jaar na de kap en zag

grote verschillen. Er waren stronken nagenoeg zonder spinthout en stronken waarin dat intact leek. DNA-analyse wees uit dat dit gerelateerd was aan verschillen in de samenstelling en interacties tussen schimmels.

In een ander onderzoek van dit project toonde ze aan dat variatie in afbraaksnelheid en schimmelsamenstelling ook te zien is op stamdelen van pas gekapte lariks en Amerikaanse eik die op verschillende plekken in een bos (Lovenhorst) bij Putten waren neergelegd. De variatie lijkt vooral een toevalsproces te zijn. De schimmelsoorten die als eerste vanuit de bodem de stammen koloniseerden, maakten de eerste jaren de dienst uit. Wel verschilden de schimmelsoorten voor de

twee boomsoorten, wat duidt op selectie door het type hout. De bevindingen sluiten goed aan bij onderzoek van andere onderzoeksgroepen: een hoge diversiteit aan bomen gaat gepaard met een hoge diversiteit aan houtafbrekende schimmels. Na de dynamische beginperiode ging in de stammen van Amerikaanse eik na drie jaar het elfenbankje (*Trametes versicolor*) domineren, terwijl in de lariksstammen de strijd tussen verschillende soorten nog niet beslist was.

Dennenmoorder

Bij lariks werd in het vers gekapte hout in zowel de stammen als de stronken ook DNA gevonden van de pathogene dennenmoorder (*Heterobasidi-*

um annosum). Opmerkelijk is dat die zich alleen wist te handhaven in stronken en niet in de gezaagde stamdelen. Dennenmoorder kan vanuit de wortels van geïnfecteerde stronken wortels van levende bomen binnendringen en doden. Interessant is dat bij de koloniserende schimmels van de stamdelen de ook de dennenharszwam (*Phlebiopsis gigantea*) werd gevonden, maar niet in stronken. De dennenharszwam wordt ingezet als biologisch bestrijdingsmiddel tegen de dennenmoorder en heeft dus mogelijk via natuurlijke kolonisatie vanuit de bodem ook een rol gespeeld bij het verdwijnen van de dennenmoorder uit de stamdelen.

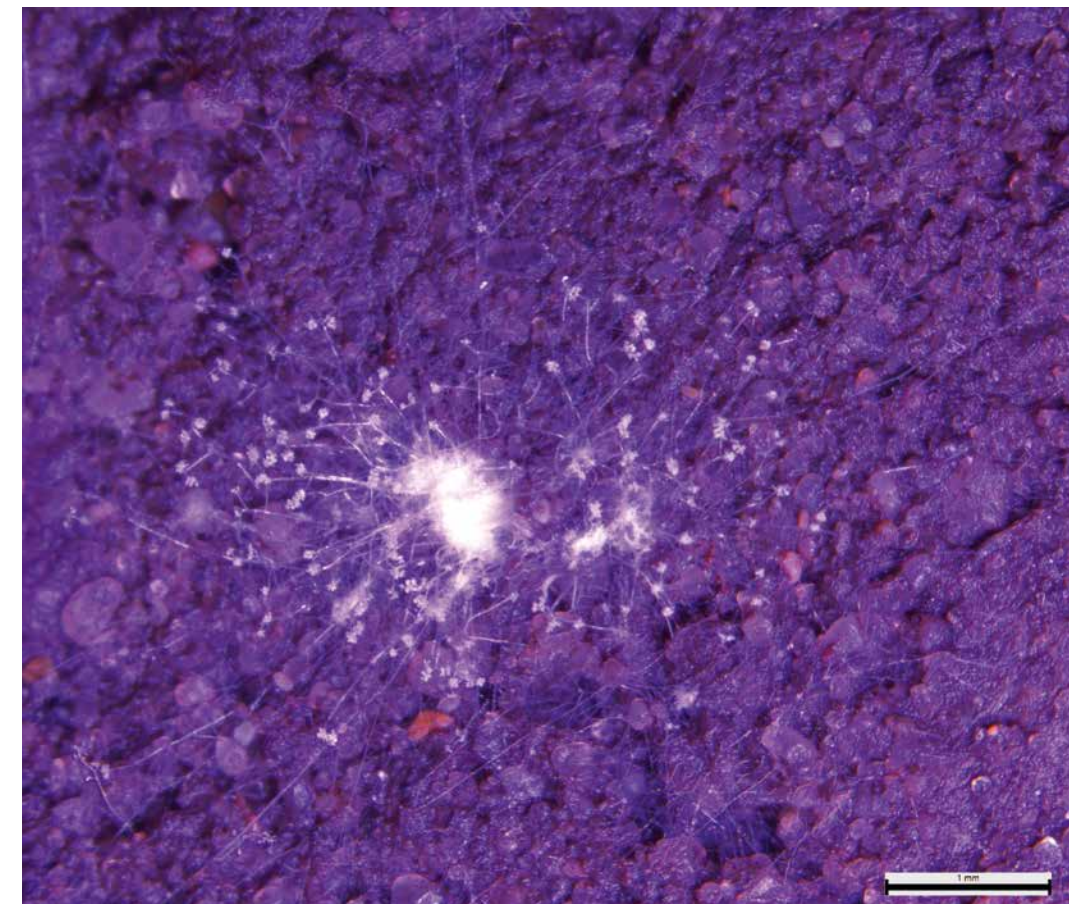
Haat-liefdeverhouding met bacteriën

Bacteriën zijn veel kleiner dan schimmels en reageren sneller op nieuwe mogelijkheden. Vers hout, zoals afgewaaid takken, wordt dan ook snel gekoloniseerd door bacteriën. Die groeien op de beperkte hoeveelheid makkelijk afbreekbare suikers. Voor de binnendringende schimmels zijn die suikers een belangrijke eerste energiebron om enzymen te kunnen produceren die houtpolymeren gaan afbreken.

Onderzoek van Larissa Folman in 2008 aan de gewone zwavelkop (*Hypholoma fasciculare*), een algemeen voorkomende witrotschimmel, liet zien dat bacteriën die vanuit de grond beukenhoutblokjes hadden gekoloniseerd, vrijwel werden uitgeroeid na het binnendringen van de schimmeldraden van de zwavelkop. Dit lijkt vooral te worden veroorzaakt door een snelle, sterke verzuuring van het hout door oxaalzuur dat de schimmel uitscheidt. De meeste bacteriële pioniers zijn daar duidelijk niet tegen bestand.

De bacteriedodende activiteit vonden onderzoekers van het NIOO ook in berkenhout met vruchtlichamen van berkenzwam (*Piptoporus betulinus*) en tonderzwam (*Fomes fomentarius*). Bij deze basidiomyceten gaat de onderdrukking van bacteriën ook door als ze vruchtlichamen hebben gevormd. Bij de gewone zwavelkop is dat niet het geval. Stronken met paddenstoelen van de gewone zwavelkop bevatten juist heel veel bacteriën. Dat zijn andere soorten bacteriën dan de pioniers die de schimmel heeft uitgeroeid. Deze bacteriën hebben zich aangepast aan zure omstandigheden en werken de schimmel niet tegen. Ze zijn voor hun groei juist afhankelijk van de houtafbraak door de schimmel. Als wederdienst kunnen de bacteriën nuttig zijn voor de schimmel, bijvoorbeeld door stikstof uit de lucht vast te leggen. Hout bevat veel koolstof maar weinig stikstof, wat een beperkende factor is voor de groei van houtrotschimmels.

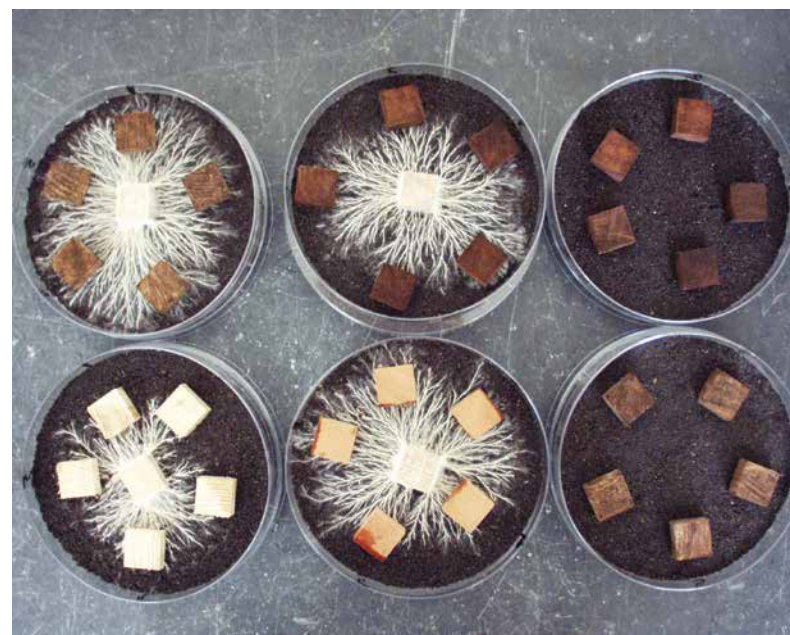
In de microbiële collectie van het NIOO zitten veel bacteriële isolaten afkomstig uit rottend hout. Aangezien veel van die bacteriën geen remmende werking hebben op schimmels maar wel strijden tegen concurrerende bacteriële houtbewoners, zijn ze interessant voor onderzoek naar nieuwe antibacteriële middelen die eukaryote cellen (schimmel, mens) ongemoeid laten. Zo kan rottend hout in bossen mogelijk nog een belangrijke bijdrage gaan leveren aan het vinden van noodzakelijke nieuwe antibiotica.



Schimmeldraden die uitgroeien vanuit een houtsnipper in de bodem.



Links: Paddenstoelen van de gewone zwavelkop op een dode stam. Rechts: Proef met kolonisatie van beukenhoutblokjes op bosgrond door schimmeldraden van de gewone zwavelkop.



Toediening van restmateriaal van bomen stimuleert schimmels in akkerbodems.



Inspiratie voor duurzame landbouw

In tegenstelling tot die in bosbodems is de hoeveelheid schimmeldraden in de meeste akkerbodems heel beperkt. Hoewel intensieve grond bewerking en gebruik van fungiciden daaraan bijdragen, beperkt vooral het tekort aan afbreekbare organische stof de groei van schimmels. Dit zien we ook bij uit productie genomen akkers op de Veluwe, waar gedurende vele jaren de opbouw van organische stof en schimmeldraden beperkt blijft. Hierdoor worden belangrijke bijdragen van schimmels voor het functioneren van de bodem gemist. Denk aan bijvoorbeeld de vorming van bodemaggregaten (beter vochtvasthoudend vermogen en vermindering winderosie), de regulatie van de beschikbaarheid van minerale voedingsstoffen (onder ander minder uitspoeling van nitraat) en verhoging van de bodembiodiversiteit (schimmeldraden van het bodemvoedselweb).

Geïnspireerd door de goede groei van schimmels op hout in bossen, heeft Anna Clochiatti in haar promotie-onderzoek (2016-2021) onderzocht of het inwerken van houtzaagsel en -snippers in akkerbodems schimmeldraden stimuleert. Het werkte prima! Met name het inwerken van loofhoutmateriaal resulteerde in een snelle en langdurige stimulatie van de groei van schimmeldraden. De schimmels die zich ontwikkelen zijn niet de houtrot-basidiomyceten die in bossen voorkomen maar ascomyceten (zakjeszwammen) die makke-

lijk toegang hebben tot de cellulosepolymeren in versnipperd hout.

Het stimuleren van schimmels door houttoevoeging past goed bij een duurzamere landbouw. Plantpathogene schimmels worden erdoor onderdrukt en de overmaat aan stikstof, die anders uit zou kunnen spoelen, wordt door de schimmels weggevangen. Daarnaast neemt de algehele diversiteit van het bodemleven toe, omdat schimmelende bodemdieren van een voedselbron worden voorzien.

Het gebruik van hout als bodemverbeteraar is in de landbouw nog niet wijdverbreid. De stimulans van de overheid om houtige landschapselementen zoals houtwallen en singels aan te leggen, kan ook een stimulans zijn om snoeihout te gebruiken voor verbetering van akkerbodems. Een beetje bos in de akker zal het bodemleven goeddoen!

Wietse de Boer is microbiële ecoloog (NIOO-KNAW) en emeritus-hoogleraar (WUR)