

Het bodemvoedselweb is oorspronkelijk verschenen onder de titel *Teaming with Microbes* en heeft veel lof geogst.

‘Dit boek is een doorbraak op het gebied van natuurlijk tuinieren.’

– *American Gardener*

‘Uitmuntend... Een kort, duidelijk overzicht van wetenschappelijke informatie waarmee elke tuinier bekend zou moeten zijn.’

– *Monterey Herald*

‘Duikt op een verhelderende en vermakelijke wijze de bodem in.’

– *Miami Herald*

‘Dit intense boekje zou de manier waarop je tuiniert zo maar kunnen veranderen.’

– *St. Louis Post-Dispatch*

‘Ja, het is een boek over tuinieren, maar het heeft alle spanning en sensatie die je in een thriller over buitenaardse wezens ook zou kunnen tegenkomen. Een cast met karakters zonder oogballen of ruggengraten. Gevechtsscènes met bizarre creaturen die elkaar opeten. Alleen speelt het zich allemaal hier op Aarde af. Lees dit boek en je kijkt voortaan heel anders naar de bodem.’

– *Anchorage Daily News*

‘Alle goede tuiniers weten dat gezonde planten beginnen bij een gezonde bodem. Maar waarom? En hoe? In **Het Bodemvoedselweb** onthullen Lowenfels en Lewis de nieuwe onderzoeksresultaten op een praktische en toegankelijke wijze.’

– *The Oregonian*

‘Dit boek moet iedere tuinier lezen om een duurzame, gezonde tuin te kunnen creëren zonder chemicaliën te gebruiken.’

– *Detroit News*

‘We wisten al jarenlang dat er in de natuur “voedselketens” bestonden. Lowenfels en Lewis leggen een nog mooier concept uit: het bodemvoedselweb. Lees **Het Bodemvoedselweb** en bewaar het goed of geef het aan de bibliotheek zodat anderen kunnen leren over deze verbazingwekkende manier om groenten te telen en bomen en gazons te onderhouden.’

– *Rockland Courier-Gazette*

‘Het is opwindend dat de onthullingen die in dit boek gedaan worden slechts het topje van de ijsberg zijn wat betreft de complexe microscopische wereld die zich in de komende decennia gaat ontvouwen.’

– *B & B Magazine*

‘Dit is het meest complete boek dat verkrijgbaar is over ecologisch moestuinieren... Warm aanbevolen aan alle tuiniers, hoveniers en iedereen die voor een gazon of tuin zorgt.’

– *Nature's Way Resources*

‘Als je echt wilt weten hoe bodems werken en wilt leren hoe je de bodem moet voeden (en daarmee je planten), dan is er een geweldig boek dat het allemaal heel goed uitlegt en ook vertelt hoe je hele goede compost en compostthee maakt. Het is kernachtig en gebruikt geen wetenschappelijke taal. Het boek heet **Het Bodemvoedselweb** en is geschreven door Jeff Lowenfels en Wayne Lewis.’

– *Jared R. McKinley*

Jeff Lowenfels & Wayne Lewis

Het bodemvoedselweb

Alle kleine beestjes helpen

Oorspronkelijke titel
Teaming with microbes

Vertaling
Marc Siepman

Uitgeverij Jan van Arkel

Inhoud

Voorwoord door dr. Elaine Ingham	7
Voorwoord bij de Nederlandse uitgave	9
Inleiding	11

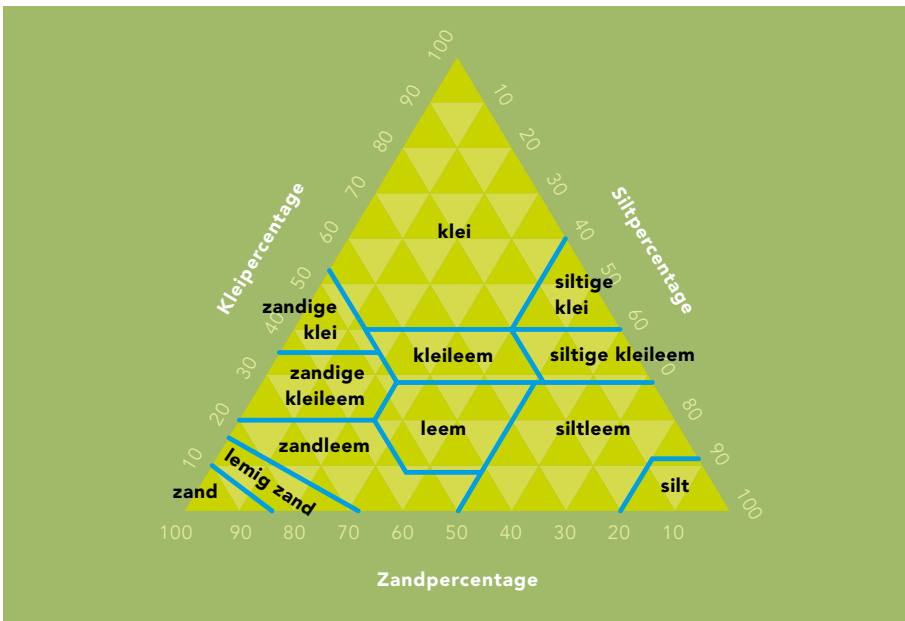
Deel 1

Wetenschappelijke basiskennis	17
1 Wat is het bodemvoedselweb en waarom is het zo belangrijk?	19
2 Klassieke bodemwetenschap	30
3 Bacteriën	47
4 Archaea	57
5 Schimmels	67
6 Algen en slijmzwammen	82
7 Protozoa	87
8 Nematoden	93
9 Geleedpotigen	97
10 Wormen	104
11 Buikpotigen	110
12 Reptielen, zoogdieren en vogels	113

Deel 2

De bodemvoedselwebwetenschap toepassen in de praktijk	115
<i>De regels voor het tuinieren met het bodemvoedselweb</i>	116
13 Het bodemvoedselweb en tuinieren	119
14 Hoe zien jouw bodemvoedselwebben eruit?	125
<i>Voorbeeld Bodemvoedselwebanalyse</i>	132

15	Hulpmiddelen voor herstel en onderhoud	134
16	Compost	143
17	Mulch	157
18	Compostthee	162
19	Mycorrhizale schimmels	177
20	Het gazon	188
21	Bomen, struiken en meerjarigen onderhouden	198
22	Eenjarigen en groenten verbouwen	205
23	Een eenvoudige bodemvoedselweb-tuinkalender	216
24	Niemand heeft ooit een oerbos bemest	220
	Bronnen	222
	Register	225
	Over de auteurs	238



▲ Een diagram met bodemtexturen.

We beginnen bij zand. Je bent vast wel eens op een strand geweest en je weet dus al dat zanddeeltjes zichtbaar zijn met het blote oog. Ze variëren in grootte van 0,05 tot 2 mm (50 tot 2000 micrometer (μm)). Als ze nog groter zijn dan heeft het ook niet veel nut meer voor een tuinier, behalve misschien als verharding voor een paadje. Zanddeeltjes zijn net klein genoeg om een klein beetje water vast te houden als ze in aggregaten zitten, maar het meeste water is gravitationeel en spoelt meteen weer uit, waardoor er maar een klein beetje water adsorbeert en er heel veel lucht overblijft. Bovendien zijn zanddeeltjes groot genoeg om beïnvloed te kunnen worden door de zwaartekracht, waardoor ze snel naar de bodem zakken als ze worden vermengd met water. Als er veel zand in de bodem zit, dan voel je de zandkorrels schuren wanneer je ze tussen je vingers wrijft.

De volgende qua formaat is silt. Zanddeeltjes kun je met het blote oog waarnemen, maar je hebt een microscoop nodig om individuele siltdeeltjes te kunnen zien. Net als zand bestaan ze uit verweerd gesteente, maar ze zijn veel, véél kleiner – tussen de 0,002 en 0,05 mm (2-50 μm) in diameter. De poriën tussen deze deeltjes zijn veel kleiner en bevatten veel meer capillair water dan zand. Siltdeeltjes staan net als zand onder de invloed van de zwaartekracht maar dalen minder snel als je ze met water vermengt en schudt. Silt voelt tussen de vingers aan als bloem.

Klei wordt gevormd door intense hydrothermale activiteit of door de chemische inwerking van koolzuur die rotsen waar silicaat in zit verweert. Kleideeltjes zijn eenvoudig te onderscheiden van silt, maar je hebt er dit keer een elektronenmicroscop voor nodig – want zo klein zijn deze deeltjes, de kleinste in de bodem: 0,002 mm (2 μm) in diameter of minder. Klei is kneedbaar en voelt glad aan tussen de vingers. Dit komt doordat kleideeltjes veel water vast kunnen houden, daarom worden ze ook wel silicaathydraten genoemd. Naast silicium en water bevatten ze vaak ook aluminium, magnesium en ook wel ijzer.

Laten we het geheel eens visualiseren. Als een kleideeltje de grootte had van een zaadje van een afrikaantje, dan zou een siltdeeltje even groot zijn als een grote radijs. Een zanddeeltje zou echter zo groot zijn als een grote kruiwagen. Een andere manier om naar textuur te kijken is door een gram (ongeveer een theelepeltje) zand voor te stellen en de deeltjes naast elkaar te leggen. De deeltjes zouden een oppervlak bestrijken van niet veel meer dan een 2-euro-munt. Zou je dezelfde hoeveelheid klei op dezelfde manier uitspreiden, dan zou je een basketbalveld nodig hebben – en nog een stukje van de tribune.

Wat maakt de textuur uit? De grootte van de deeltjes heeft alles te maken met hun oppervlak en het oppervlak van de porieruimten tussen de individuele deeltjes. Klei heeft een enorm oppervlak als je het vergelijkt met zand. Silt zit daar tussenin. Klei heeft kleinere poriën tussen de deeltjes, maar veel grotere aantallen, dus het oppervlak van de poriën in klei is groter dan die van silt, en die is weer groter dan die van zand. Organische stof, meestal in de vorm van humus, bestaat uit minuscule deeltjes die, net als klei, een enorm oppervlak hebben waar voedingsstoffen voor planten zich aan kunnen hechten waardoor ze niet uitspoelen. Humus verbetert ook de capillariteit.

Alle bodems hebben een textuur en ze kunnen allemaal in een categorie geplaatst worden afhankelijk van hoeveel zand, silt en klei erin zit. De ideale tuingrond is leem: een mix van ongeveer even grote zand-, silt- en kleifracties. Het heeft het oppervlak van het silt en de klei, om voedingsstoffen en water vast te houden, en de porieruimte van zand, voor een goede drainage en luchttoevoer.

Test je bodem

Een ideale tuinbodem bevat 30 tot 50% zand, 30 tot 50% silt en 20 tot 30% klei, met 5 tot 10% organische stof. Je kunt zelf testen hoe dicht jouw bodem bij het ideaal komt. Je hebt alleen maar een pot nodig van een liter, twee kopjes water

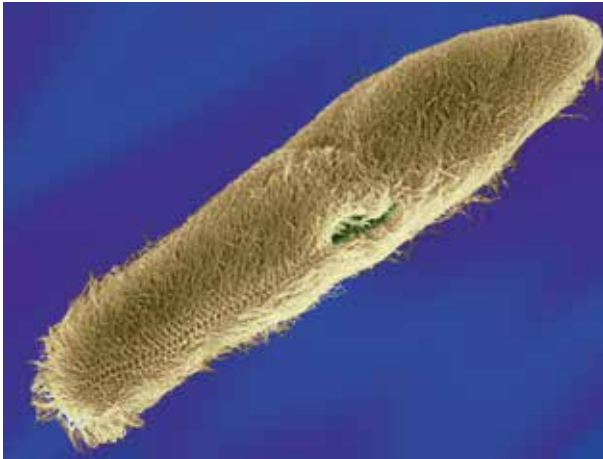
7 Protozoa

De meeste tuiniers hebben protozoa voor het eerst gezien tijdens het practicum biologie, waarbij de celonderdelen van een pantoffeldiertje geïdentificeerd en geschetst moesten worden. Ze zouden zich kunnen herinneren dat protozoa eencellige organismen zijn met een celkern, wat ze eukaryotisch maakt. Daarom horen ze, samen met schimmels, in het domein Eukaryaota thuis. Protozoa (de term gebruiken we in dit boek om de groep organismen te beschrijven die geen alg is, geen schimmel, dierachtig en eencellig maar in verschillende rijken thuishoort) zijn bijna altijd heterotroof, ze kunnen niet hun eigen voedsel synthetiseren. Ze halen daarom hun voedingsstoffen uit het eten van (voornamelijk) bacteriën, maar ook een enkele schimmel en soms andere protozoa.

Pantoffeldiertjes zijn nog steeds favoriet. Dat komt omdat zij en de andere protozoa in de bodem aanzienlijk groter zijn (5 tot 500 μm) dan bacteriën (1 tot 4 μm). Dit mag nog steeds heel klein lijken, maar als het micro-organismen betreft, dan is 500 μm (een halve millimeter!) behoorlijk fors – zo groot dat een pantoffeldiertje in water en bij goed licht zichtbaar is met het blote oog. Je moet nog steeds heel goed kijken, en je zult niet de onderdelen kunnen onderscheiden die je op school moest benoemen, maar zonder een microscoop kun je ze heen en weer zien bewegen. Door een elektronenmicroscoop kun je pas echt details zien.

Als je zo klein bent als een bacterie dan kun je maar beter uit de buurt van protozoa blijven. Ter vergelijking: als een bacterie zo groot zou zijn als een erwte, dan zou een pantoffeldiertje zo groot zijn als een watermeloen. Daardoor kunnen bacteriën zich schuilhouden in poriën waar de pantoffeldiertjes niet in kunnen komen. Je kunt ook een vergelijking maken door terug te denken aan het theelepeltje waar een miljard bacteriën in zaten – er zitten ‘maar’ enkele duizenden protozoa in.

Er zijn 60.000 soorten protozoa bekend en die leven niet alleen in vijvers, het merendeel woont in de bodem. Ze hebben echter allemaal vocht nodig om



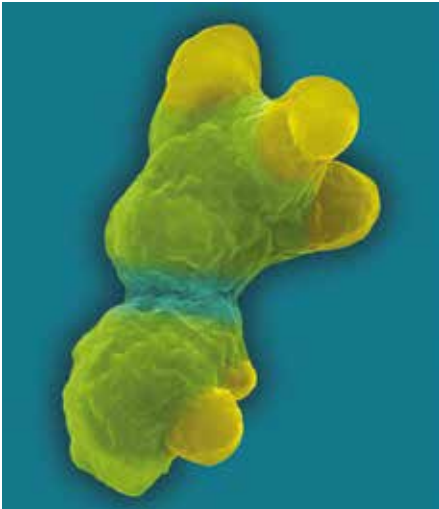
◀ *Pantoffeldiertje*, door een elektronenmicroscopie gezien, 130x. Beeldrecht: Dennis Kunkel Microscopy, Inc.

een actief leven te kunnen leiden. Gezien de cruciale rol die protozoa spelen geven we hier een korte herhaling van de biologielessen – plus wat extra's – die je op school zult hebben gehad.

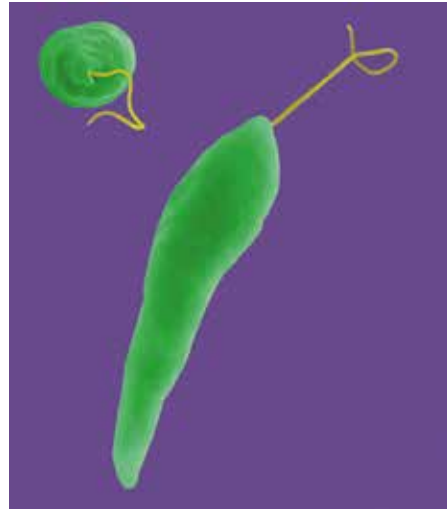
Amoeben, trilhaardiertjes en zweephaardiertjes

Er zijn drie basisvormen te onderscheiden. Allereerst de pseudopoden: eencellige dieren zonder vaste vorm (ze zijn amorf), die de meesten zich zullen herinneren als amoeben. Deze zijn altijd in beweging, dat doen ze door hun cytoplasma – de soep met al hun bestanddelen – in één of meer nep-aanhangsels te gieten, die pseudopodia (schijnvoetjes) heten. Pseudopoden zijn ook weer onder te verdelen in twee soorten. De eerste heeft een schelpachtig exoskelet met vijf gaten (denk aan een vingerloze handschoen) waar de pseudopodia uit kunnen komen. De andere klasse heeft geen schelp en ook geen gevormde pseudopodia. Dit zijn relatief grote micro-organismen en veel zouden net zo zichtbaar zijn als pantoffeldiertjes als ze niet zo doorzichtig waren. Amoeben hebben geen mond en daarom nemen ze bacteriën in door ze te omhullen met gasbellen (zo ontstaat een vesikel), waarin verteringsenzymen gebracht worden. De gehele vesikel wordt vervolgens geabsorbeerd en het afval wordt uitgescheiden.

De volgende groep wordt gevormd door de trilhaardiertjes. Deze zijn aanzienlijk kleiner dan hun amoëoïde neefjes, maar nog steeds veel groter dan hun prooi, de bacteriën. Trilhaardiertjes zijn bedekt met rijen haren die tegelijkertijd bewegen, net als de roeispanen van een Romeins galei, om zich



▲ Een amoëbe, gezien door een elektronen-
microscop, 700x. Beeldrecht: Dennis Kunkel
Microscopy, Inc.



▲ *Euglena*, 440x. Beeldrecht: Dennis Kunkel Micro-
scopy, Inc.

naar een voedselbron te bewegen – of aan een vijand te ontkomen. Bovendien creëren die ‘roeispanen’ stromen die bacteriën naar de omgeving van de mond van het trilhaardiertje brengen, zodat ze opgegeten kunnen worden. Het bekende pantoffeldiertje is een voorbeeld van een trilhaardiertje.

De derde en kleinste soort der protozoa zijn de zweephaardiertjes. Ze hebben een of twee lange zweepachtige haren, zweepstaartjes of flagellen, waarmee ze zich kunnen voortbewegen op zoek naar voedsel. Enkele zweephaardiertjes, zoals *euglena* (het ‘klassieke’ zoetwater-zweephaardiertje dat je in vijvers vindt), produceren hun eigen voedsel door middel van fotosynthese en zijn dus autotrofe organismen; de meesten zijn echter heterotroof en moeten dus andere organismen eten om aan voedsel te komen.

Meer symbiotische relaties

Net als zo veel andere organismen in het bodemvoedselweb vormen ook protozoa symbiotische relaties, met name met bacteriën. Dit gebeurt zo vaak dat het eerder regel dan uitzondering is. Een klassiek voorbeeld is dat van zweephaardiertjes die zich in de ingewanden van termieten bevinden en de houtige vezels verteren die de termieten eten. We weten inmiddels dat deze relatie eigenlijk drievoudig is. De elektronenmicroscop heeft onthuld dat er

Compostextract krijg je als je compost een paar weken in water laat weken. Het eindresultaat is een anaerobe soep met hooguit een klein beetje aerobe activiteit aan de oppervlakte. Alleen het verlies van aerobe microbiële diversiteit zegt al genoeg: misschien is het de moeite niet waard. En dan hebben we het nog niet eens over de risico's die de aanwezigheid van anaerobe ziekteverwekkers en alcoholen met zich meebrengen. Wij vinden anaerobe compostextracten niet veilig en kunnen het gebruik ervan niet adviseren.

Mestthee, die gemaakt wordt door een zak met mest een aantal weken in water te hangen, is ook anaeroob. Mest gebruiken is vragen om ziekteverwekkers en geeft eigenlijk de garantie dat *E. coli* aanwezig zal zijn, zeker onder anaerobe omstandigheden. We willen de gunstige microben in de bodem voor ons aan het werk zetten en om die te krijgen moet je aeroob te werk gaan.

Moderne compostthee

Moderne compostthee is een aeroob mengsel. Als de thee goed gemaakt is, dan is het een concentraat van nuttige, aerobe organismen. De bacteriële populatie neemt bijvoorbeeld toe van 1 miljard in een theelepel compost, naar 4 miljard in een theelepel ABCT. Deze thee wordt gemaakt door compost (en wat extra voedingsstoffen om de microben te voeden) aan chloorvrij water toe te voegen en dat mengsel een of twee dagen te beluchten. Dit mengen, of actief beluchten, maakt het verschil tussen ABCT en de ouderwetse compostthee: dat maakt het namelijk aeroob, en daarmee veilig. De luchttoevoer moet gedurende het gehele proces afdoende zijn om thee aeroob te houden.

Het kost energie om de microben los te krijgen uit de compost. Je weet waarschijnlijk wel hoeveel energie je elke dag moet gebruiken (of zou moeten moeten

MINIMALE NORMEN PER MILLILITER COMPOSTTHEE

1 microgram (μg)=1/1000ste gram

Actieve bacteriën	10 – 150 μg
Totaal aantal bacteriën	150 – 300 μg
Actieve schimmels	2 – 10 μg
Totaal aantal schimmels	5 – 20 μg
Zweephaardiertjes	1000
Amoeben	1000
Trilhaardiertjes	20 – 50
Nuttige nematoden	2 – 10

gebruiken) om een andere vorm van bacterieel slijm te verwijderen: tandplak. Bacterieel slijm in de bodem is net zo sterk. Bedenk ook dat schimmeldraden niet alleen op de oppervlakte van de deeltjes in de compost groeien, maar ook in de hoeken en gaten; je moet energie gebruiken om deze draden eraf en eruit te krijgen en ook nog om de bacteriën los te peuteren. Als het brouwapparaat er te veel energie op loslaat, dan kunnen de microben natuurlijk gedood worden. Er moet dus net genoeg energie gebruikt worden om de microben los te krijgen, maar niet zo veel dat ze gedood worden zodra ze los zijn en in de thee terecht komen.

Het brouwapparaat

Er zijn steeds meer apparaten verkrijgbaar om compostthee mee te maken. Deze 'brouwers' variëren van kleine, 20- tot 75-litersystemen met genoeg capaciteit om iets meer dan een hectare te behandelen tot commerciële brouwers die per keer wel 3800 liter of meer produceren. Op het internet kun je ze opzoeken en vergelijken. Fabrikanten zouden moeten kunnen aantonen dat hun apparaten levensvatbare populaties van zowel schimmels als bacteriën uit de compost kunnen halen. Alleen een test kan dit uitwijzen. Sta erop dat je die te zien krijgt. Hebben ze er geen, koop het apparaat dan niet.

Je kunt er ook zelf een maken. Het is erg makkelijk en we kunnen het aanraden als je net begint met compostthee maken. Vraag bij de snackbar een emmer van ongeveer 20 liter, plaats er een aquariumpomp in (de grootste die je kunt vinden) met een beluchtingssteen en anderhalve meter bijpassende slang. De betere pompen hebben twee uitgangen. Als je die niet kunt vinden, gebruik dan minimaal twee pompen met één uitgang. Voldoende beluchting is cruciaal. Zodra je systeem draait kom je er snel genoeg achter of er genoeg luchttoevoer is. Als de thee goed ruikt, gaat het goed. Als hij begint te stinken, wordt de thee anaeroob.

We hebben bij natuurkunde geleerd dat hoe kleiner de bubbels zijn, hoe groter het oppervlak ten opzichte van de hoeveelheid lucht. Als de bubbels echter kleiner dan 1 milliliter worden kunnen ze de microben kapot maken. Beluchtingssteentjes werken prima zolang je er maar aan denkt ze schoon te houden (en het stukje slang ook). Een ander systeem kan gemaakt worden door het beluchtingssteentje te vervangen door een stuk slang van 60 centimeter lang en een diameter van 64 millimeter, met gaatjes erin, gemaakt voor druppel-irrigatie. De slang kan als een spiraal vastgemaakt worden aan de onderkant van de emmer, waardoor er een groter gebied wordt belucht dan met een steentje.



▲ Actief beluchte compostthee wemelt van de bacteriën, schimmels, protozoa en nematoden die uit de compost gekomen zijn. Foto: Judith Hoersting.



▲ De Keep It Simple (KIS)-brouwer kan in twaalf uur tijd genoeg thee maken voor een stuk grond van 4000 m². Foto: Judith Hoersting.



▲ De BobOLator, die een kamer heeft waarin de compost zit, kan 190 liter thee maken in 24 uur. Foto: Judith Hoersting.

Met een stukje duct tape plakken we de beluchtingssteen of irrigatieslang vast aan de bodem van de emmer, daarna maken we dit vast aan de beluchtingslang en sluiten die aan op de pomp. Voor de netheid kun je eventueel een rubberen oogje aan de binnenkant van de emmer maken waar de slang doorheen loopt. Als je het oogje heel laag in de emmer plaatst, of zelfs op de bodem, helpt het ook de slang of de steentjes op de bodem te houden.

Sommige mensen stoppen de compost in een poreuze zak, die ze in de thee hangen, in plaats van de compost los rond te laten zweven. Op die manier hoeft je de thee niet meer te zeven voor gebruik, wat je wel zal moeten doen als je hem in een sproeisysteem gebruikt (als je thee rechtstreeks over de bodem verspreidt hoeft je niet te zeven). Een panty in een grote maat werkt goed als 'compostsok'. Je kunt de taille van de panty over de rand van de emmer doen en de benen in de emmer gooien. Vervolgens gooi je de compost in de benen. Je kunt ook eerst een knoop in de benen doen waardoor er een soort zak ontstaat waar je de compost in doet, zolang de compost maar onder water staat.

Het plaatsen en schoonhouden van de brouwer

Als je compostthee maakt, dan is de temperatuur belangrijk. Als het te koud is vertraagt dat de microbiële activiteit. Als de temperatuur te hoog wordt, worden de microben letterlijk gekookt of gaan sluimeren. Kamertemperatuur