Verborgen Stadsnatuur

Een levende stad voor mens en natuur



Verborgen Stadsnatuur

Een levende stad voor mens en natuur

Inhoud

4 Waarom een boek over het verborgen leven in de stad?

6 **INTRODUCTIE**
7 Natuur in de stad
10 Eilandtheorie in de stad
13 Verborgen stadsnatuur in beeld
18 Tips - Beleid voor een biodiverse stad

20 **DE BODEM IS DE BASIS**
21 Bodemdieren
23 Een thuis voor duizenden microben
25 Fundament voor de stad
28 Ruim baan voor boomwortels en mollen
30 Gebiedsontwikkeling met aandacht voor de bodem
32 Paddenstoelen: symbolen van overlevingskracht
35 Het bodemleven in verticale tuinen
38 Tips voor een biodiverse bodem

40 **STADSE STRUCTUREN ALS LEEFGEBIED**
41 Mossen en korstmossen
44 De kosmos van het korstmos
46 Mos: een oplossing voor stedelijke problemen?
48 Mossen op de muur
50 Maatschappelijke opgaven oplossen met biodiversiteit
51 Wilde bijen in de stad
54 Tips voor het kleine leven bovengronds

56 **BIODIVERSITEIT MEETBAAR MAKEN**
57 Genetische monitoring
59 Gezonde bomen met groene data
62 Hittestress meten met (korst)mossen
64 Tips - Groener beleid en beheer door data

66 **KOM IN ACTIE VOOR DE STADSNATUUR**
67 Groene oases in een grijze stad
69 Groen als sociaal bindmiddel
72 Vrienden van de Leidse Hortus
75 Natuurlab
76 Tips - Samen aan de slag voor stadsnatuur

78 Bronnen / Referenties
81 Colofon

Waarom een boek over het verborgen leven in de stad?

Vraag een willekeurig persoon naar wat stadsnatuur is en je zult meestal een vergelijkbaar antwoord krijgen. Een opsomming van stedelijk groen, zoals straatbomen, parken, grasvelden en bloemperken. Misschien merkt iemand wat vogels op, of insecten die op bloemen afkomen. Toch is deze zichtbare stadsnatuur slechts het topje van de ijsberg. In de bodem, op gebouwen, in het water en zelfs in de lucht, barst het van het leven. Je ziet het niet meteen, of zelfs niet met het blote oog. Bacteriën, schimmels, algen, (bodem)diertjes, mossen, korstmossen en stoepplantjes die zich spontaan vestigen en zich onder allerlei omstandigheden staande weten te houden. De rijkdom van het verborgen leven in de stad, daarover gaat het hier.

Waarom dit boek over verborgen stadsnatuur? Omdat de laatste jaren het besef groeit dat ruimte geven aan stedelijke biodiversiteit positieve effecten heeft op de kwaliteit van de leefomgeving. Een belangrijk gegeven, aangezien wereldwijd steeds meer mensen in steden leven. Groene en veerkrachtige stedelijke ecosystemen helpen mens en natuur – bijvoorbeeld door hittestress te verminderen. Maar welke rol speelt de verborgen biodiversiteit hierbij?

Om die vraag te kunnen beantwoorden, moeten we kijken naar onze kennis van de biodiversiteit. In Nederland komen naar schatting ruim 48.000 soorten voor (bacteriën uitgezonderd). En dit aantal groeit nog steeds. Daarbij neemt vooral de soortenkennis over nog relatief onbekende groepen zoals schimmels en kleine insecten toe, ook dankzij nieuwe technieken die dit 'kleine leven' zichtbaar maken. Maar vergeleken met natuurlijke ecosystemen is de kennis van het verborgen leven in de stad tot nu toe onderbelicht, niet alleen in Nederland. Zo ging het wereldwijde onderzoek naar het bodemleven tot voor kort slechts in één procent van de gevallen over de stedelijke omgeving, onthulde een wetenschappelijke overzichtsstudie uit 2018. En dat terwijl de bodem een enorme bron is van biodiversiteit, met meer dan duizend soorten in één theelepel aarde.

Dat de verborgen stadsnatuur zo vaak over het hoofd wordt gezien, komt door verschillende oorzaken. Allereerst is er te weinig kennis over welke kleine organismen in de stad eigenlijk voorkomen. Ook roepen 'kriebelbeestjes', 'onkruid' en andere kleine natuur vaak negatieve associaties op. Daarnaast zijn er onvoldoende hulpmiddelen om deze organismen te ontdekken en op naam te brengen. En tot slot is er een gebrek aan praktische tips en activiteiten die helpen om de verborgen stadsnatuur tot bloei te laten komen.

De bodem in een stedelijke omgeving is een enorme bron van biodiversiteit, met meer dan duizend soorten in één theelepel aarde.

Dat is de reden waarom in 2022 het onderzoeksproject *Hidden Biodiversity* (Verborgen Stadsnatuur) in het leven werd geroepen. Het project maakt deel uit van de Nationale Wetenschapsagenda en is gefinancierd door de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). In lijn met de doelen van dit programma kwamen meer dan 20 wetenschappelijke en maatschappelijke partners bij elkaar om samen kennis op te doen en praktijktoepassingen te verkennen.



Michael Stech
Mossenexpert bij Naturalis Biodiversity Center

"Al ruim voordat de term 'verborgen biodiversiteit' bestond, hield ik me met minder bekende soorten bezig. Ruim dertig jaar geleden besloot ik mijn onderzoek als bioloog op mossen te richten – kleine plantjes die in het wetenschappelijk veld niet zo vaak aandacht krijgen als bloemplanten. Mijn onderzoek gaat over mossen in natuurlijke ecosystemen, uiteenlopend van arctische toendra's tot tropische regenwouden, maar ook in Nederland. Als projectleider van Verborgen Stadsnatuur kan ik daar nu ook mossen in de stad aan toevoegen. Het geeft me veel voldoening om onderzoekers en praktijkpartners bij elkaar te brengen in het ontrafelen van de verborgen biodiversiteit in onze directe leefomgeving."

Nu, in 2026, is het tijd om de balans op te maken. Vier jaar lang hebben de projectpartners van Verborgen Stadsnatuur intensief samengewerkt aan een gemeenschappelijke missie: impact maken voor een biodiverse, leefbare stad. In dit boek brengen we deze veelzijdige kennis en ervaring bij elkaar en delen we onze tips voor de praktijk. We hopen hiermee stedelijke professionals te inspireren, en iedereen die meer wil weten over de betekenis van verborgen stadsnatuur voor het stedelijke ecosysteem en de menselijke bewoners. Door toenemende bebouwing komen natuurlijke leefgebieden onder druk te staan. Aan de andere kant kunnen steden een belangrijke rol spelen als leefgebied voor grote en kleine soorten organismen, zeker in een dichtbevolkt land als Nederland. Nu we dankzij dit project meer weten over de verborgen stadsnatuur, opent dit de weg waarmee deze rijke biodiversiteit meewerkt aan hoe gezond, veerkrachtig en leefbaar de stad is.

De opgedane kennis hebben we gebundeld in vijf verschillende thema's. We starten met het kaderen van het begrip 'stadsnatuur' en de ecologie ervan. Ook krijg je hier een visuele indruk hoe divers de verborgen stadsnatuur kan zijn. Vervolgens nemen we je mee ondergronds om te ervaren dat hier de basis ligt voor de bovengrondse natuur. Je ontdekt welke uitdagingen en mogelijkheden er zijn voor biodiverse bodems in de stedelijke omgeving. Daarna zetten we de mossen en korstmossen in de spotlight. Op bomen en beton kunnen zij bijdragen aan het meten en verbeteren van de omgevingskwaliteit. Een apart thema gaat in op het belang van groene data en moderne technieken die het bestuderen van de complexiteit van micro-organismen mogelijk maken. In het laatste thema geeft gedragsonderzoek inzicht in de menselijke stadsbewoners en sluiten we af met praktijkvoorbeelden die laten zien hoe zij de natuur in hun omgeving kunnen leren kennen en een handje helpen.

Michael Stech,
Projectleider Verborgen Stadsnatuur



De natuur heeft de stad omarmd als een nieuw leefgebied

Op steeds meer plekken kleuren stoepplanten de versteende omgeving bont en zorgen zij voor voedsel en schuilplekken voor dieren.

Foto: Michael Stech

Natuur in de stad
Wat is het eigenlijk?

Onderzoek naar natuur in de stad is relatief jong. Een verkenning van hoe dit van de grond kwam en de Nederlandse kaders.

Wie aan natuur denkt, denkt niet direct aan de stad. Natuur en stad worden vaak gezien als tegenpolen: in de stad leven vooral mensen, terwijl 'de natuur' het domein zou zijn van planten en dieren. Dat idee is niet vreemd, want lange tijd probeerde de mens wilde natuur juist buiten de stad te houden. Het onderzoek naar natuur ín de stad is daarom relatief jong, en het besef dat steden rijk zijn aan biodiversiteit is pas in de laatste decennia echt doorgedrongen. Twee invalshoeken hebben bijgedragen aan de ontwikkeling van onderzoek naar urbane ecologie in Europa: het beschrijven van wát er in de stad leeft en hóe deze natuur functioneert.

De stad als ecosysteem

We beginnen bij professor Herbert Sukopp (1930–2026), die samen met zijn studenten tijdens de Koude Oorlog de natuur in Berlijn onderzocht. Zij ontdekten bijvoorbeeld dat stenen muren, braakliggende terreinen, spoorterreinen en bermen, van grote ecologische waarde zijn voor de stedelijke flora en fauna. Hun werk liet zien dat natuur in de stad niet slechts een restant is van wat er was vóórdat mensen zich daar vestigden, maar dat de stad een heel eigen ecosysteem vormt. Warmte, verdichte bodems, stikstofrijkdom, verstoring en het stenige substraat (gebouwen, muren, spoorballast en wegen) creëren specifieke leefomstandigheden voor allerlei plant- en diersoorten. Niet alle soorten kunnen met deze omstandigheden omgaan: de biodiversiteit in de stad is daardoor van een andere aard dan bijvoorbeeld in een bosgebied of bloemrijk grasland. Het bleek dat de stad het thuis is van heel nieuwe levensgemeenschappen, met soorten die profiteren van de menselijke dynamiek. Deze dynamiek vormt daarmee juist een ecologische kracht: de natuur heeft de stad omarmd als een nieuw leefgebied.

Het 'metabolisme' van de stad

Bij het beschrijven van de stad als ecosysteem ontstonden meer belangrijke inzichten. Zo introduceerde de Brusselse ecoloog Paul Duvigneaud (1913–1991) in 1974 het concept van het 'metabolisme' van de stad: hoe kunnen planten en dieren hier overleven? Hij beschreef de stromen van energie, materie, afval en warmte binnen het stedelijk ecosysteem. Dit pionierswerk legde een basis voor het begrijpen van relaties tussen niet-levende (abiotische) factoren zoals bodem, water en warmte, en levende (biotische) factoren zoals planten, dieren en micro-organismen. Daarmee werd de stad voor het eerst erkend als een zelfstandig ecologisch systeem.

Opkomst in Nederland

In dezelfde tijd raakte ook in Nederland het begrip 'stadsnatuur' steeds meer bekend, onder meer door een groeiend aantal stadsecologen. Waar de aandacht eerst vooral uitging naar heemtuinen, werd vanaf de jaren zeventig van de vorige eeuw ook ecologisch groenbeheer in de stad toegepast. De plantengroei in bermen mocht wilder worden, een inzicht dat bijvoorbeeld werd geïnspireerd door het boek De bonte berm van Piet Zonderwijk uit 1979. En dood hout bleef vaker liggen vanwege de ecologische waarde. Er kwam meer aandacht voor inheemse beplanting, die cruciaal is voor de



Stadsparken zoals Het Park in Rotterdam, hier gezien vanuit de Euromast, zijn niet alleen geschikt voor recreatie van de mens, maar zijn ook leefgebieden voor allerlei soorten planten, schimmels en dieren.

Foto: Marcel de Jong



Ook gebouwen bieden leefruimte voor grote en kleine organismen. Zo zijn sommige roofvogels steeds vaker in steden te vinden. De sperwer (foto) jaagt op kleine vogels en voor slechtvalken is een stad gewoon een soort rotslandschap. Ook korstmossen – onderdeel van de verborgen stadsnatuur – groeien graag op gebouwen, zoals hier op oude dakpannen.

Foto: Garry Bakker

biodiversiteit. Zowel in stedenbouw als in beheer werd natuur een belangrijke waarde, en sinds de jaren negentig hebben flora en fauna hierin een vaste plek veroverd.

Verankerd in wetgeving

Steden zorgen voor natuur, niet alleen omdat ze dat willen, maar ook omdat de wet dit verplicht. Bescherming van soorten en gebieden is vastgelegd in de Europese Vogelrichtlijn en de Europese Habitatrichtlijn. Lidstaten vertalen dit in een eigen wetgeving; in Nederland gebeurde dit in 2002 via de Flora- en faunawet. Sinds 2024 valt de natuurbescherming in ons land onder de Omgevingswet. Daarin worden onder andere de huismus, de gierzwaluw en verschillende soorten vleermuizen beschermd. Dit betekent dat onderzoek naar die soorten is verplicht bij mogelijke verstoring en aantasting. Tegelijkertijd bestaat er een verschil tussen de Rode Lijst – die soorten classificeert op



Soorten die we rekenen tot verborgen stadsnatuur, zoals micro-organismen, (korst)mossen en insecten, vallen vaak buiten de wettelijke bescherming.

basis van trend, verspreiding en zeldzaamheid – en de lijst met wettelijk beschermde soorten. Sommige ernstig bedreigde soorten zijn niet wettelijk beschermd, en andersom: niet iedere wettelijk beschermde soort staat op de Rode Lijst. Met name soorten die we rekenen tot verborgen stadsnatuur, zoals micro-organismen, (korst) mossen en insecten, vallen vaak buiten de wettelijke bescherming.

Ecologisch veerkrachtig en biodivers

Uit onderzoek blijkt dat bijna 2% van de dier-, planten- en schimmelsoorten in Nederland afhankelijk is van stedelijke gebieden. Bijna 9% van de soorten vindt hier in grote aantallen een geschikt leefgebied, hoewel ze ook daarbuiten voorkomen. In deze berekeningen zijn schimmels en bacteriën nog niet meegerekend. Al met al betekent dit dat de stad niet langer alleen moet worden gezien als een plek voor mensen. Het is een complex en dynamisch ecosysteem, waarin natuur en cultuur nauw met elkaar zijn verweven. Als we dat erkennen en laten terugkeren in groenbeheer en ruimtelijke ontwikkeling, ontstaan kansen om steden niet alleen leefbaar maar ook ecologisch veerkrachtig en biodivers te maken.

Niels de Zwarte,
Het Natuurhistorisch / Bureau Stadsnatuur

Kees Vink,
Erasmus University College

Eilandtheorie in de stad
Het verklaren van plaatselijke biodiversiteit

Kennis over het belang van schaalgrootte biedt gemeenten handvatten in het groenbeleid. Stelregel is: 'kwaliteit door kwantiteit'.

De processen die plaatselijke diversiteit verklaren komen in alle ecosystemen voor, ook in de stad. De stad biedt, vanuit het oogpunt van een springspin, waterjuffer of muurplant, een heterogeen landschap met 'eilanden' van geschikte leefgebieden, zoals een kademuur, boomspiegel of groendak. Waar een gebouw voor de ene soort een ideale leefomgeving biedt, is het voor de andere waardeloos, of zelfs een barrière. Hoe deze inzichten kunnen worden toegepast in het groenbeleid van de stad, is in het project Verborgen Stadsnatuur onderzocht.

Eilandtheorie
De theorie die verklaart hoe soortenrijkdom op eilanden ontstaat, is The Theory of Island Biogeography, gepubliceerd door Robert MacArthur en Edward Wilson in 1967. Nog steeds vormt deze theorie de basis van veel biodiversiteitsbeleid: soortenrijkdom is een evenwicht tussen zich vestigen en uitsterven. Nieuwe soorten bereiken eilanden vanuit andere gebieden, terwijl bestaande soorten verdwijnen door bijvoorbeeld ruimte- of voedselgebrek. Volgens deze theorie bestaan soorten uit populaties die zijn verspreid over meerdere 'eilandjes' van leefgebieden.

Eilanden in de stad
De snelheid waarmee soorten zich vestigen in stadse leefgebiedjes volgt de ecologische principes uit de eilandtheorie. Hierin speelt de afstand tot het 'vasteland' een belangrijke rol: hoe dichter de eilandjes bij elkaar liggen, hoe groter de kans dat soorten zich uitbreiden. Daarnaast bieden grotere eilanden doorgaans meer leefruimte en hulpbronnen voor verschillende soorten. De kans op uitsterven is er kleiner en nieuwe soorten of populaties weten een groter eiland sneller te vinden. Per saldo zullen grotere eilanden dus een grotere biodiversiteit herbergen dan kleine eilanden.

Druk op de stedelijke natuur
Ook dynamiek speelt een rol in het verklaren van plaatselijke biodiversiteit. Steden zijn altijd in beweging; straten, buurten en wijken gaan geregeld op de schop. Karakteristieke stadssoorten kunnen doorgaans goed met deze veranderingen omgaan. Komt er een plekje bij, dan verschijnen vaak spontaan libellen, sprinkhanen en planten. Dat laat zien hoe veerkrachtig stadsnatuur is. Toch zit er ook een minder dynamische kant aan de stad. Nadat woonbuurten zijn opgeleverd zie je weinig verandering. De contouren van woningen, straatgroen en verkeersruimte zijn afgebakend en binnen die marges is het speelveld voor de natuur beperkt. Daar komt bij dat ruimtegebrek de stedelijke natuur flink onder druk zet. Bereikbaarheid, werken en de energietransitie, maar ook inbreiden (bouwen binnen de bebouwde kom), eisen veel vierkante meters op, niet alleen bovengronds, maar ook ondergronds.

Belang van goede verbindingen
Om tegenwicht te bieden aan deze factoren, werken gemeenteambtenaren en bestuurders aan groenbeleid. Op verschillende schaalniveaus kijkt men naar het groenaanbod – in de straat, buurt en wijk. Gemeenten tekenen op stadsniveau hoofdstructuren, raamwerken en netwerken in, om niet uit het oog te verliezen dat dieren zich moeten



In de versteende Julianastraat in Leiden is veel groen toegevoegd in een project over duurzame wijkvernieuwing. Door vergroening te combineren met rioolvervanging gaan biodiversiteit en klimaatadaptatie hand in hand.

Foto: Wouter Moerland

kunnen verplaatsen. Het principe van deze 'connectiviteit' zit goed tussen de oren bij beleidsmakers. Een mooi voorbeeld is het groen-blauwe raamwerk in Leiden, met zijn ringen (Singelpark en PanoramaPark) en spaken (verbindingen tussen de historische binnenstad en daarbuiten). Het creëren van verbindingen zoals deze, maakt dat kleine populaties samen robuuster zijn en minder snel verdwijnen dan wanneer ze losse eilandjes vormen. Toch worden die netwerken vaak ingetekend vanuit het perspectief van de mens, niet van de natuur. Daardoor zijn verbindende structuren in de praktijk vooral nuttig voor mensen. Groene achtertuinen of wegbermen kunnen voor zich verplaatsende doelsoorten zoals egel of vlinder een leefgebied of verbindingszones zijn, zonder dat dit is terug te zien op een beleidskaart. Daar komt bij dat veel stadssoorten van nature goed in staat zijn om zich te verplaatsen zonder al te veel last te hebben van barrières. Zo blijken wilde bijen en zweefvliegen ook zonder tussenkomst van een bijenlint (een groene, bloemrijke verbindingszone) geïsoleerde groendaken op grote hoogte goed te kunnen vinden. Niettemin speelt barrièrewerking in de stad wel degelijk een rol. Wanneer bijvoorbeeld kikkerbeet, grof hoornblad of aarvederkruid uit een geïsoleerd watersysteem verdwijnt, is spontane hervestiging nagenoeg uitgesloten. En bodemorganismen hebben baat bij ondergrondse ecologische netwerken van groenstructuren die met rust worden gelaten (zie 'Ruim baan voor boomwortels en mollen').

Kwaliteit door kwantiteit

Wat het project Verborgen Stadsnatuur voor gemeenten heeft bijgedragen, is kennis over het belang van schaalgrootte. Hier geldt de stelregel 'kwaliteit door kwantiteit': hoe groter het leefgebied, hoe ontwikkelder en robuuster de soortgemeenschappen. Neem bijvoorbeeld een boomspiegel. De micro-organismen in de bodem van deze kleine, geïsoleerde leefgebiedjes, zijn vatbaarder voor invloeden van buitenaf. Daartegenover hebben grotere groeneenheden met meer open bodem een positief effect op micro--organismen en het ecologisch functioneren van



De Slaaghsloot, onderdeel van de groen-blauwe dooradering van Leiden.

Foto: Wouter Moerland

de bodem. Vandaar dat de gemeente Leiden nu bij grote straatrenovaties, zoals het vervangen van de riolering, structureel meer open grond toevoegt aan de krappe, versteende straten. Ook als je op grotere schaal kijkt, is het groenvolume van ecologisch belang. Zo heeft een tjiftjaf voldoende aan een smalle strook bosplantsoen, terwijl een groene specht meer ruimte nodig heeft. Hoe kleiner de stedelijke invloed en hoe groter en natuurlijker het groengebied, hoe groter de kans dat zich hier soorten vestigen die je niet meteen associeert met 'straatgroen'. Boommarters, vleermuizen en roofvogels vragen om rust en ruimte. Groenvakken met een gelaagde vegetatiestructuur huisvesten een andere, grotere soortgemeenschap wanneer er meer volume is. En in grotere 'eilanden' zoals stadsparken, kunnen soorten voorkomen die behoefte hebben aan een natuurlijker (micro) klimaat. Dat zie je bijvoorbeeld aan bepaalde mossen en korstmossen die opduiken zodra er sprake is van een bosachtige omgeving.

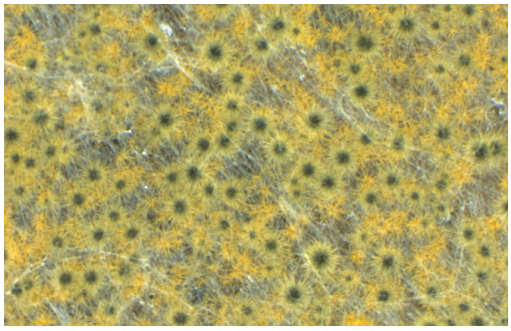
Puzzelen met de ruimte

Behalve het belang voor de zichtbare en minder zichtbare natuur, helpen robuuste groengebieden de stad leefbaar te houden voor mensen. Het groen biedt koelte in de zomer en groene ruimte voor recreatie. Effectief groenbeleid voor biodiversiteit gaat hand in hand met klimaatadaptatie. Het leggen van die puzzel met ruimte voor groen is geen eenvoudige ontwerpopgave, maar met de Europese Natuurherstelverordening, zoals artikel 8 over het herstel van stedelijke ecosystemen, moeten gemeenten hier wel mee aan de slag. De principes van MacArthur en Wilson zijn daarmee voor gemeenten relevanter dan ooit.

Wouter Moerland en Veronique Loeffen, Gemeente Leiden

Verborgen stadsnatuur in beeld

Schimmels, bodemdieren, mossen en korstmossen komen overal in onze omgeving voor maar worden vaak niet opgemerkt. Maak kennis met een aantal vertegenwoordigers van deze kleine natuur.



Een schimmel (*Chaetomium* sp.) waarvan sporen zijn opgevangen uit de lucht en gekweekt op een voedingsbodem. Op de foto zijn schimmeldraden en de bolvormige, behaarde voortplantingsorganen te zien die kenmerkend zijn voor deze schimmel. Hij staat hier symbool voor de duizenden schimmels en andere micro-organismen die overal om ons heen aanwezig zijn, maar onzichtbaar blijven.

Foto: Marvin Narvaez



Springstaart (*Entomobrya multifasciata*)

Foto: Tom Heijnen (https://www.free-natureimages.eu/)

Springstaarten zijn al een slag groter, maar nog steeds heel klein, vergeleken met bijvoorbeeld een naaktslak. Zij leven vooral in de strooisellaag van de bodem en helpen bladafval te verwerken tot compost. Springstaarten komen in twee "smaken", langwerpig of bolvormig. Van beide groepen zijn hier soorten getoond die ook in stadsbodems voorkomen.



Springstaart (*Dicyrtoma fusca*)

Foto: Ab H. Baas (https://www.freenatureimages.eu/)



Springstaart (*Entomobrya multifasciata*)

Foto: Ab H. Baas (https://www.freenatureimages.eu/)



Weer een slag groter en wellicht beter bekende vertegenwoordigers van de bodembiodiversiteit zijn pissebedden en loopkevers. Mospissebed (*Philoscia muscorum*) is een van de vijf meest voorkomende pissenbedsoorten en is – als leuke extra – vernoemd naar een andere groep van de verborgen stadsnatuur.

Foto: Hans Jonkman (https://www.nederlandsesoorten.nl; CC BY-NC-ND)



De Akkersnelloper (*Anchomenus dorsalis*) is een veelvoorkomende loopkever in stedelijk gebied.

Foto: Maries Elemans (https://www.nederlandsesoorten.nl; CC-BY-NC)



Schimmels die paddenstoelen vormen zijn ineens wél zichtbaar boven de grond. De Geschubde inktzwam (*Coprinus comatus*) kan in de herfst zomaar langs een weg opduiken.

Foto: Michael Stech



Op bomen die begroeid zijn met mossen zijn soms kleine paddenstoeltjes te zien, zoals deze mycena (*Mycena* sp.).

Foto: Els Corporaal

Groot dooiermos (*Xanthoria parietina*) is een stikstofminnend korstmos dat inmiddels op veel bomen in de stedelijke omgeving (en daarbuiten) te vinden is. De oranje kleur laat zien dat de verborgen stadsnatuur soms helemaal niet zo 'verborgen' is. In de oranje schoteltjes ontstaan de sporen waarmee Groot dooiermos nieuwe plekken kan koloniseren.

Foto's: Ron Poot (rechts), Michael Stech (onder)







De korstmos begroeiing op deze laanboom – met grijze schildmossen en 'struikjes' van Eikenmos (*Evernia prunastri*) – duidt op relatief schone lucht en relatief weinig hittestress op deze plek.

Foto: Michael Stech



Gewoon dikkopmos (*Brachythecium rutabulum*) is een van de meest voorkomende mossen, te herkennen aan de lichte topjes van de stengels. Mostapijten op de grond zijn belangrijke microhabitats voor kleine dieren, zoals het slakje op het Ginkgoblad op de foto.

Foto: Michael Stech



Gewoon muisjesmos (*Grimmia pulvinata*) groeit als kleine kussentjes op beton, vaak samen met korstmossen (foto) en andere mossen. Wanneer de kussentjes helemaal uitgedroogd zijn, lijken ze op grijze 'muisjes'. Als het regent, komen ze weer tot leven.

Foto: Ron Poot



De sporenkapsels boven op de kussentjes van Gewoon muisjesmos gaan open wanneer de sporen rijp zijn. De tandjes rond de opening zorgen ervoor dat de sporen alleen bij droog weer worden verspreid. Komt een spore op een geschikte plek terecht, kan daar een nieuw kussentje uit groeien.

Foto: Ron Poot

Tips
Beleid voor een biodiverse stad

Het hoeft niet ingewikkeld te zijn om ervoor te zorgen dat de natuur de stad blijft omarmen als leefgebied. Iedereen kan een steentje bijdragen, en beleidsmakers hebben de positie om deze groene visie handen en voeten te geven in de stad.

De 6 V's

De 6 V's – variatie, veiligheid, verbinding, vocht, voedsel en voortplanting – zijn de basis voor grote én kleine organismen, zoals deze voorbeelden laten zien:

- **Variatie:** Zorg voor zo veel mogelijk variatie. Maak bij voorkeur houtstapels en steenhopen, en laat strooisel liggen – perfect om meer bodemdieren te verwelkomen.
- **Veiligheid:** Daken en muren zijn een veilig leefgebied voor de traag groeiende korstmossen wanneer ze zo weinig mogelijk worden schoongemaakt.
- **Verbinding:** Investeer in ecologische verbindingen, en ontwerp deze met het oog op de behoeften van soorten.
- **Vocht:** Minder en niet direct boven de grond maaien beschermt het bodemleven tegen uitdroging.
- **Voedsel:** Vergroen je tuin of gevel met inheemse planten als dracht- en waardplanten.
- **Voortplanting:** Hang nestkasten of insectenhotels op.

Voor beleidsmakers

- Maak het behoud en vergroten van stedelijke biodiversiteit een concreet doel in ruimtelijke plannen. De integrale koppeling van biodiversiteit met gezondheid, klimaatadaptatie, sociale cohesie en de economische waarde van ecosysteemdiensten maakt biodiversiteit steviger verdedigbaar binnen ruimtelijke investeringen.
- Zorg voor een structurele integratie van natuur en biodiversiteit in stedelijke ontwikkeling. Neem biodiversiteit als een vanzelfsprekend onderdeel mee in ontwerp, beheer, aanbesteding en gebiedsontwikkeling, in plaats van dit achteraf toe te voegen. Dit betekent actief gebruik van stedelijke vernieuwing voor extra kwalitatief groen, bijvoorbeeld door open bodem en aaneengesloten vegetatiestructuren.
- Verbind biodiversiteit expliciet aan assetmanagement en vervangingsopgaven, zoals riolering, kabels en leidingen, warmtenetten en wegenonderhoud. Juist daar ontstaan vaak logische meekoppelkansen.
- Bescherm bestaande stedelijke natuur actief: ook op onverwachte plekken zoals spoorterreinen en braakliggende grond komt veel biodiversiteit voor.
- Hanteer de stelregel: groter groen is altijd beter. Dat geldt voor elk schaalniveau. Of het nu gaat om straatgroen of wijkparken, grotere ‘eilanden’ bieden meer leefgebied en ondersteunen complexere gemeenschappen aan soorten, zowel boven- als ondergronds.
- Gebruik voor de besluitvorming indicatoren die in verband staan met een rijke (verborgen) stadsnatuur, zoals percentage open bodem, kroonbedekking, aandeel inheemse soorten of hoeveelheid dood hout, naast het daadwerkelijk meten van biodiversiteit om beleidseffecten te monitoren.
- Geef de (verborgen) stadsnatuur de tijd om te ontwikkelen. Ecologische kwaliteit vraagt continuïteit in beleid, inrichting en beheer.

Bewoners en bedrijven betrekken

- De grootste oppervlakte van de stad is niet in handen van de gemeente, maar van bedrijven en particulieren. Een groene en biodiverse stad ontstaat daarom alleen als iedereen bijdraagt!
- Stimuleer vergroening van privétuinen en bedrijventerreinen met gerichte communicatie en praktische tips, zoals in het NK Tegelwippen.
- Ondersteun bewoners en buurtinitiatieven met kennis en middelen zodat zij straten kunnen vergroenen en buurttuinen kunnen onderhouden.
- Laat als bewoner je stem horen en spreek lokale politici aan op het belang van stedelijke natuur.

De teksten en tips in de volgende delen van dit boek gaan dieper in op de bodem, het bovengrondse leven, datagedreven beleid en de betekenis van iedereen voor stadsnatuur.

Bekijk ook de video over Verborgen Stadsnatuur op de site.



De bodem is de basis

Een paddenstoel heeft zich de weg gebaand tussen de stoeptegels door in een straat in Utrecht.

Foto: Sjoerd Gremmen

Bodemdieren
Maak kennis met de buren onder je voeten

Bodemdieren zijn van onschatbare waarde voor bodemvruchtbaarheid, waterinfiltratie, plantengroei en bestrijding van ziekten en plagen. Een korte introductie op dit onopvallende leven.

Hoewel we ze niet direct waarnemen, zijn bodemdieren zeer rijk aan soorten. Deze soortenrijkdom is vaak groter dan bovengronds. Gezamenlijk verzetten bodemdieren bergen werk. Ze zijn overwegend klein en onopvallend, maar komen werkelijk overal voor. Van de diepste grotten tot de hoogste bergpieken. Maar ook in de stad en rondom het huis. Hier maak je kennis met deze buren onder je voeten.

Enorme variatie

De variatie binnen de bodemdieren is enorm, bijvoorbeeld in afmeting. Zo behoren nematoden ('aaltjes') tot de kleinste bodemdieren. Met een omvang van hooguit 0,1 millimeter zijn ze met het blote oog niet zichtbaar. Deze miniatuur bodemdieren worden op de voet gevolgd door bijvoorbeeld springstaarten en mijten; diertjes van maximaal 2 millimeter 'grootte'. Een slag groter zijn de pissebedden, miljoen- en duizendpoten, die tot enkele centimeters lang zijn. En dan zijn er nog de grote spelers van de bodem, zoals regenwormen, padden, reptielen, vossen, muizen en mollen. Hoe groot een soort is, bepaalt ook het aantal individuen ervan in een bepaald gebied. Onder het maaiveld van één vierkante meter grasoppervlak tref je bijvoorbeeld wel miljoenen aaltjes aan, bestaande uit 10–100 verschillende soorten. Springstaarten kunnen een dichtheid hebben van wel 80.000 individuen per vierkante meter. Met pissebedden en miljoenpoten daalt dat aantal tot slechts honderd verschillende individuen en enkele tientallen soorten.

De diepte in

Een andere eigenschap om bodemdieren in te delen, is de diepte waarop ze in de bodem voorkomen. Sommige soorten leven aan het bodemoppervlak, andere in de bovenste bodemlaag, en weer andere diep in de bodem. Waar de dieren leven, zie je terug in de kleur van het lichaam. Soorten die aan de oppervlakte rondscharrelen zijn meestal donkerbruin en grijszwart van kleur, waardoor ze minder opvallen voor natuurlijke vijanden die op zicht jagen. Diep in de bodem leven diertjes die veelal wit van kleur zijn; er dringt hier toch geen licht door dat hun aanwezigheid verraadt. Ook zijn deze soorten vaak blind, want in het donker zijn ogen niet nodig. En ze zijn gevoeliger voor klimaatextremen dan oppervlakkig levende soorten.

Onderzoek naar bodemdieren

Tijdens het project Verborgen Stadsnatuur is door de Vrije Universiteit Amsterdam (VUA) onderzoek uitgevoerd naar de eigenschappen van verschillende soorten bodemdieren. Deze eigenschappen wijzen ons de weg naar het begrijpen van hun



Ovale stompkaak *(Badister lacertosus)*, een loopkever die ook in stedelijk gebied voorkomt.

Foto: Anne Krediet (https://www.nederlandsesoorten.nl; CC BY)

verspreiding. Vergelijken we bijvoorbeeld het leven in de Amsterdamse stadsbodem met de natuur in de bodem rond de stad, dan vinden we verschillen in soortensamenstelling. Dat komt bijvoorbeeld doordat de klimatologische omstandigheden in stad en platteland sterk uiteenlopen; dit vraagt andere aanpassingen van het bodemleven. Vergelijken we de soorten bodemdieren tussen steden onderling, dan zien we juist wel overeenkomsten. Door op deze manier naar de eigenschappen van bodemdieren te kijken, zijn algemene uitspraken te doen over hoe zij zich aanpassen aan de omgeving.

Loopkevers binnen en buiten de stad

In het verlengde van regulier onderzoek van de VUA aan loopkevers, is dit werk met Verborgen Stadsnatuur verder uitgebreid. Hoewel over de ecologie van loopkevers al veel bekend is, is nog onduidelijk in hoeverre deze insecten zich hebben aangepast aan de stadse omgeving. Voor dit onderzoek zijn potvallen (kleine open emmers in de grond) geplaatst op locaties in de stad en op het platteland. Dit is een methode om loopkevers te verzamelen. De geselecteerde steden zijn Amsterdam, Amstelveen, Haarlem en Leiden, met een focus op parken, maar ook op binnenplaatsen en de groene 'armen' van de stad. Op het platteland is gekozen voor groenstroken langs de weg en op boerenpercelen. Uit de resultaten blijkt dat in de stad andere soorten loopkevers voorkomen dan op het platteland. Buiten de stad is de soortenrijkdom groter. Wel is het aantal loopkevers tussen stad en platteland vergelijkbaar. Het verschil in soortensamenstelling gaat samen met het feit dat stadse loopkevers andere eigenschappen hebben dan die op het platteland. Opvallend is dat loopkevers in de stad minder vaak vliegen, zich later in het jaar voortplanten en meer nachtactief zijn omdat ze minder tolerant zijn voor hitte en uitdroging.

De stad als filter

Het onderzoek laat een sterk effect zien van de inrichting van de stad op de soortsamenstelling van loopkevers en de eigenschappen die daarbij horen. In feite 'filtert' de stad dus op welke loopkevers er kunnen leven en – vooral ook – welke niet. Wanneer nieuwe groengebieden in Nederlandse steden worden aangelegd die overeenkomen met wat in dit project is onderzocht, komen hier naar verwachting loopkevers voor met dezelfde eigenschappen, mogelijk ook dezelfde soorten. Dit gaat ook op voor andere bodemdieren. Door het verder uitbouwen van dit onderzoek naar de eigenschappen van bodemdieren, kan steeds beter worden voorspeld hoe deze gemeenschappen eruitzien en wat vergroening in de stad voor hen betekent.

Wouter van der Vegt en Matty Berg,
Vrije Universiteit Amsterdam

Een thuis voor duizenden microben

Microbiële biodiversiteit in stadsbodems

Met Verborgen Stadsnatuur doken we de stadsbodem in, van parken tot onder de straat. Daar vonden we een enorme diversiteit aan micro-organismen.

Van al het leven op aarde leeft ruim de helft in de bodem: maar liefst zo'n 60 procent. Het gaat daarbij niet alleen om voor de hand liggende soorten zoals regenwormen en mollen, maar vooral ook om groepen waar we misschien niet zo snel aan denken: schimmels en bacteriën. En dat terwijl deze microben heel belangrijk zijn voor het hele ecosysteem, ook bovengronds. Zo zijn er schimmels die de gezondheid en groei van bomen en andere planten bevorderen (mycorrhiza), andere schimmels die dood materiaal afbreken, of schimmels die juist schadelijk zijn. Bacteriën zijn belangrijk in vrijwel alle chemische kringlopen in de bodem; denk aan het opnemen van stikstof uit de lucht of het vrijmaken van voedingsstoffen voor planten uit de bodem.

Gefragmenteerde stadsbodems

Schimmels en bacteriën zitten in alle bodems. Maar welke microben op welke plek leven, hangt van allerlei omstandigheden af. Hoeveel voedingsstoffen zitten er bijvoorbeeld in de grond? Welke vegetatie staat er? Om wat voor bodemtype gaat het? Is de bodem vervuild? Voor een stabiele bodemgemeenschap helpt het wanneer deze omstandigheden min of meer hetzelfde blijven. Stadsbodems zijn wat dit betreft een geval apart. Ze zijn vaak ontzettend gefragmenteerd – met asfalt, tegels, bebouwing en kleine open stukjes grond. De aanleg van kabels en riolering, onderhoud en vernieuwing van groen of infrastructuur veroorzaken regelmatig verstoring. Stabiliteit is dus ver te zoeken.

Verviervoudiging van de schimmelbiodiversiteit

Welke schimmels en bacteriën in stadsbodems leven en wat ze daar doen, is grotendeels onbekend. In het project Verborgen Stadsnatuur zijn door middel van omgevings-DNA (eDNA) verschillende onderzoeksvragen over dit onderwerp beantwoord. Zo bleek dat de schimmelbiodiversiteit onder wegen verdubbelt wanneer straatbomen zijn aangeplant. In de boomspiegels scoorde de biodiversiteit van schimmels zelfs vier keer zo hoog als onder een boomloze straat. Dit was een resultaat van onderzoek naar de samenstelling van de schimmelbiodiversiteit rond boomspiegels van lindebomen (Tilia) in vijf verschillende steden (Amsterdam, Leiden, Den Haag, Dordrecht en Tilburg). Een extra argument dus om meer bomen te planten en open plekken grond in het straatbeeld toe te passen.

Overeenkomsten en verschillen

Dezelfde studie toonde aan dat de boomspiegels in de vijf onderzochte steden ongeveer dezelfde microbensamenstelling hebben. Maar als je binnen dezelfde stad naar verschillende



bodemtypes kijkt – bijvoorbeeld naar een boomspiegel en naar de bodem onder de stoep – zie je juist wel verschillen. Ook al liggen deze plekken maar een meter uit elkaar. Dit betekent dat de manier waarop wij onze steden inrichten direct van invloed is op de bacterie- en schimmelgemeenschappen. Hierbij speelt ook een rol welke bomen worden aangeplant, want elke boomsoort kent een eigen leefgemeenschap. Inheemse bomen leveren bijvoorbeeld voor insecten en andere boombewoners over het algemeen biodiversiteitswinst op. Voor microben hebben we zo'n duidelijk verband nog niet kunnen vinden. Wel is bekend dat elke boomsoort een eigen microbioom kent. Door in de stad veel verschillende boomsoorten aan te planten, versterk je dus de biodiversiteit.

Advies geven over stadsbodems

Het combineren van fundamentele ecologische vragen en praktische toepassingen in steden blijkt vaak een uitdaging, zeker voor het bodemleven. Dat komt vooral simpelweg omdat we over dit bodemleven nog heel veel niet weten. Van de tienduizenden genetische varianten die we in stadsbodems hebben gevonden kunnen we met de huidige technieken slechts 35 procent van de schimmelsoorten identificeren. Voor bacteriën ligt dit percentage nog lager. Hoewel dit weinig lijkt, hebben we gedurende Verborgen Stadsnatuur toch ruim 3.000 schimmelsoorten wél op naam gebracht. En dit allemaal in slechts vijf Nederlandse steden. Even in perspectief: volgens het Nederlandse Soortenregister zijn in ons land zo'n 13.500 schimmelsoorten bekend. Als je het zo bekijkt, vinden we dus ongeveer een kwart van alle in Nederland bekende schimmels gewoon in de stad. Welke biodiversiteit en ecologische functies aanwezig moeten zijn hangt onder andere af van de gebruiksdoelen van de bodem op een bepaalde plek. Toch zijn er algemene maatregelen om de biodiversiteit in stedelijke bodems te stimuleren (zie onder Tips).

Sjoerd Gremmen,
Naturalis Biodiversity Center

Met het blote oog zijn alleen boomwortels en enkele witte schimmeldraden zichtbaar onder deze bestrating, maar in werkelijkheid leven er duizenden onzichtbare micro-organismen.

Foto: Sjoerd Gremmen

Fundament voor de stad

Een interview met Joyce van den Berg, landschapsarchitect en onafhankelijk adviseur

Binnen het project Verborgen Stadsnatuur richten we onze aandacht op het kleine leven, zoals schimmels, bacteriën, mossen en korstmossen. Deze organismen bieden kansen om de stedelijke omgeving groener en leefbaarder te maken. Joyce van den Berg, voormalig werkzaam als landschapsarchitect bij de gemeente Amsterdam, was vanaf het begin betrokken bij dit project. Nu werkt zij als onafhankelijk adviseur (Studio Berg) aan complexe vraagstukken over stedelijk ontwerp, ondergrond, ecologie en infrastructuur en hoe deze onderwerpen samenkomen.

In dit interview vertelt Van den Berg hoe gemeenten momenteel de biodiversiteit in de bodem meenemen in hun beleid voor de openbare ruimte – denk aan planning, uitvoering en beheer – en op welke punten hierin nog verbetering mogelijk is.

Zonder gezonde bodem, geen duurzame biodiversiteit

Biodiversiteit maakt steeds vaker onderdeel uit van de stedelijke planning. Zo kom je het begrip 'natuurinclusief bouwen' tegen en denken gemeenten na over het gewenste aantal vierkante meters groen per inwoner. Het beleid richt zich daarbij vooral op de zichtbare natuur zoals bomen, bijen, vogels en vleermuizen. Toch vertelt dit volgens Van den Berg maar een deel van het verhaal. "Wat met dit beleid onderbelicht blijft, is de soortendiversiteit die we in de bodem kunnen tegenkomen, zoals micro-organismen, schimmels, insecten en grotere soorten zoals de regenworm." Juist dit bodemleven vormt de basis van stedelijke ecosystemen, denkt Van den Berg. "Veel beleidsmakers hebben niet scherp dat de bodem ook leeft. Ze gaan ervan uit dat het toevoegen van 'groen' voldoende is om de biodiversiteit te versterken. Maar de kwaliteit van een plan zit met name in de samenhang tussen verschillende leefgebieden. Met de juiste ondergrond zijn die leefgebieden veel veerkrachtiger. Het begint dus bij de bodem. Want zonder een gezonde bodem is er ook geen duurzame biodiversiteit."

"Met de bodem stap je een compleet andere wereld binnen. Nog relatief onbekend, maar wel essentieel voor de vitaliteit van de stad. Dat fascineert mij."

Hoe kan de bodem worden meegenomen in beleid?

De Europese Unie werkt momenteel aan wetgeving waardoor de bodem beter moet worden beschermd. Dit gebeurt bijvoorbeeld met de Soil Monitoring Law, die aanstuurt op gezonde



Joyce van den Berg

Foto: Bob Bonshoff



"Als ontwerper moet je goed weten wat zich in de bodem afspeelt."

Europese bodems in 2050. In deze ontwikkeling zullen gemeenten de bodem nadrukkelijker moeten meenemen in hun beleid. De inzichten die verkregen zijn bij het project Verborgen Stadsnatuur kunnen de uitvoering van dit beleid versterken. Van den Berg heeft genoeg ideeën hoe gemeenten dit kunnen aanpakken. “Als ontwerper moet je goed weten wat er zich in de bodem afspeelt. Dit betekent dat je niet alleen kennis moet hebben over welke leidingen en funderingen aanwezig zijn, maar ook rekening moet houden met de verborgen natuur in de bodem.” Volgens haar is het belangrijk om onder- en bovengronds veel meer integraal te ontwerpen. Dat vraagt om minder verharding, ruimte voor water – zodat het op de juiste plekken kan worden afgevoerd of



Impressie van de Bottelaarspassage in Almere als voorstel in ontwikkeling: het bovengrondse groen en de ondergrondse infrastructuur worden integraal ontworpen, met een vitale bodem als fundament voor biodiversiteit en klimaatadaptatie.

Impressie: Robin de Nier

juist vastgehouden – variatie in substraat en het tegengaan van ondergrondse barrières. Resultaten uit onderzoek dat gedaan is binnen het project Verborgen Stadsnatuur wijzen erop dat dit soort maatregelen een positief effect hebben op de bodembiodiversiteit. “Je zou bijna kunnen spreken van infranatuur”, merkt Van den Berg op.

Case study Almere

Voor de gemeente Almere is Van den Berg als onafhankelijk adviseur betrokken bij grootschalige stedelijke ontwikkeling in en rond het stadscentrum. Zo’n groot project betekent veel verstoring in de bodem. Dit is niet alleen nadelig voor de biodiversiteit, maar ook voor het aangelegde groen en daarmee ook voor het stedelijk klimaat. Van den Berg: “Ik adviseer hier om bodemverstoring te beperken en onnodige verdichting tegen te gaan, bijvoorbeeld door slim te plannen en werkzaamheden te combineren. In de praktijk zie je vaak dat een straat vijf à zes keer open moet, omdat verschillende partijen na elkaar hun werkzaamheden uitvoeren. We moeten naar een efficiëntere manier van werken, dit zorgt voor meer rust in de bodem en is beter voor de biodiversiteit, maar ook voor groenstructuren en klimaatadaptatie. De kleine, onzichtbare natuur vraagt niet om grote gebaren, maar wel om consistente keuzes.”

Agnes Westelaken, Naturalis Biodiversity Center

Ruim baan voor boomwortels en mollen

Verborgen stadsnatuur als sleutel tot gezonde straatbomen

Steden willen vergroenen, daarvoor is een gezonde bodem nodig. Dat begint met voldoende doorwortelbare ruimte en een substraat waarin het bodemleven kan floreren.

Tot pakweg honderd jaar geleden kon je in Nederlandse steden zomaar een mol tegenkomen. Bodems waren nog relatief intact: zuurstof en water drongen vrij door, boomwortels konden alle kanten op en mollen konden zich makkelijk verplaatsen. Maar met de aanleg van riolen, kabels, leidingen, ophogingen en asfalt veranderde dit razendsnel. Vandaag de dag is de ondergrond in veel stedelijke gebieden een wirwar van buizen en kabels, zwaar verdicht en arm aan bodemleven. Voor een mol – en zeker voor boomwortels – is er geen doorkomen aan. Toch is juist die ondergrond cruciaal voor het succes om steden te vergroenen. Gezonde, grote bomen die hittestress tegengaan, CO_2 vastleggen en de stad aangenamer maken, vragen om een bodem die in hun behoeften voorziet.

Doorwortelbare ruimte en bomenzand

Al in de jaren zeventig van de vorige eeuw ontdekten onderzoeksinstituten samen met gemeenten dat de slechte groei van straatbomen vooral kwam door verdichte, voedselarme bodems. Proeven met speciale substraten leidden tot het nu bekende bomenzand dat voor circa 95 procent bestaat uit zand en voor 5 procent uit organische stof. Dit mengsel bleek wereldwijd een doorbraak omdat het zorgt voor goede beluchting, waterberging en wortelgroei. Nog steeds is het de standaard bij de aanplant van bomen in een stedelijke omgeving. Tegelijk trapt het toenemende ruimtegebrek op de rem. Compactere bouw, zwaardere verkeersbelasting en uitbreidende ondergrondse infrastructuur maken het lastig om de aanbevolen minimale 25 kubieke meter doorwortelbare ruimte per boom te realiseren. Laat staan de veel grotere volumes die nodig zijn om bomen te laten uitgroeien tot monumentale exemplaren.

Bodemleven als onmisbare partner

Het project Verborgen Stadsnatuur is aangehaakt op een achtjarig praktijkonderzoek in het Amsterdamse Havengebied dat in 2019 van start ging. Bij 180 straatbomen (iepen) die in twaalf verschillende substraten onder verharding groeien, onderzoekt Naturalis specifiek het bodemleven in die substraten. De proef loopt tot begin 2027 en de resultaten zullen laten zien welke substraten het beste scoren op boomgroei én op biodiversiteit onder de grond. Een goede bodem is namelijk meer dan zand en organische stof. Steeds duidelijker wordt hoe belangrijk het bodemleven is – schimmels, bacteriën, wormen en andere organismen helpen bomen met nutriëntenopname en weerbaarheid tegen droogte en ziekte. Ook in het praktijkonderzoek vinden we relaties tussen de samenstelling van micro-organismen en de bomengroei.

Slimme oplossingen in opkomst

Intussen staan de ontwikkelingen niet stil. Boomexperts komen met steeds slimmere groeiplaatsen, zoals drukverdelende systemen die



Het project Verborgen Stadsnatuur is aangehaakt bij een langlopend onderzoek bij 180 straatbomen. Het onderzoek moet antwoord geven op de vraag welke substraten het beste scoren op boomgroei en op biodiversiteit onder de grond.

Foto: Hans Kaljee

verdichting van de bodem tegengaan, boombunkers – grote ondergrondse kunststof of betonnen 'schoenendozen', gevuld met bosbodemachtige grond – en de aanleg van zogenoemde 'wortelstraten': doorgaande ondergrondse stroken die groeiruimtes van bomen verbinden. Wortelstraten maken bomen weerbaarder tegen droogte, omdat ze hierin via hun schimmelnetwerken water en nutriënten kunnen delen. Als bonus ontstaat er ruimte voor bodemleven, van mol tot microorganismen, om zich te verplaatsen – een teken van een gezonde, veerkrachtige ondergrond. Kortom: een stad waarin mollen kunnen leven en ongestoord hun weg kunnen vinden, is een stad met een gezonde bodem. Door bij de inrichting van straten en pleinen al rekening te houden met deze verborgen natuur, worden bomen gezonder, hebben ze een langere levensduur en zijn ze effectiever in het koelen van de stad (tot 12–15 °C temperatuurverschil onder de kroon). Dat is niet alleen goed voor de stadsecologie, maar ook voor de leefbaarheid en gezondheid van menselijke bewoners.

Hans Kaljee,
Gemeente Amsterdam



In een stedelijk gebied met veel en zwaar verkeer kan een ondergrondse 'schoenendoos' boomwortels en het kwetsbare bodemleven beschermen tegen een te grote belasting. De hele groeiplaats wordt afgedekt met een stevige plaat waar uitsparingen in zijn gemaakt voor de boom. Kabels en leidingen kunnen buiten deze constructie worden aangelegd, zodat boomwortels bij het vervangen hiervan niet worden beschadigd.

Foto: Hans Kaljee

Gebiedsontwikkeling met aandacht voor de bodem

Het verborgen ecosysteem onder een nieuwbouwwijk

Als bouwbedrijf ontwikkelt Heijmans regelmatig gebieden waarbij de functie verandert. Hoe kan hierbij rekening worden gehouden met het natuurpotentieel?

Bij het omvormen van bijvoorbeeld een agrarisch gebied in een woongebied, bepaalt deze functieverandering het kader voor wat binnen dit gebied kan en mag. Tegelijkertijd verandert daarmee vaak de manier waarop naar het natuurpotentieel van een gebied wordt gekeken. De heersende overtuiging is dat natuurontwikkeling en woningbouwontwikkeling moeilijk samengaan. Die gedachte heeft een kern van waarheid, maar verdient ook nuance. Want het beperkt het kennisniveau en de ambitie voor natuur binnen de bebouwde kom.

Het systematisch inventariseren en classificeren van bodems stopt vaak zodra menselijke bewoning begint.

Gebiedseigen bodem in een nieuwbouwwijk

Een bekende ambitie voor een natuurinclusieve gebiedsontwikkeling, is het kiezen voor een beplanting die hier van nature thuishoort. Dat is een belangrijke stap vooruit. Maar daar zou een fundamentele vraag aan vooraf moeten gaan: wat nemen we na een gebiedsontwikkeling als uitgangspunt om te bepalen welke vegetatie daar 'eigen' aan is? Deze vraag komt voort uit het feit dat in Nederland steeds vaker wordt gebouwd op locaties met bodem- en watereigenschappen die civieltechnisch uitdagend zijn, zoals laagveengebieden en komgronden met zware klei in het rivierengebied. Dit zijn van nature natte en dynamische systemen, vaak met een hoge grondwaterstand en een karakteristieke bodemopbouw. Om woningbouw en infrastructuur mogelijk te maken worden deze gebieden vaak grootschalig opgehoogd. Waar mogelijk gebeurt dit met een gesloten grondbalans, dus zonder grond af of aan te voeren. Maar er zijn uitzonderingen. Met name op veenbodems wordt veel zand aangebracht om voldoende draagkracht en drooglegging te realiseren. Daarmee veranderen de bodem- en watereigenschappen van het gebied fundamenteel. De bodem die na oplevering ontstaat, heeft vaak nog maar weinig overeenkomst met het oorspronkelijke landschap. Zo is van het laagveengebied in de polder bij Gouda na de gebiedsontwikkeling Westergouwe geen sprake meer (zie foto).

Een grijze vlek voor openbaar groen

Wat vooral opvalt, is het gebrek aan kennis over zulke nieuwe bodems in de bebouwde kom. Exemplarisch daarvoor zijn de grijze vlekken van deze gebieden op veel bodemkaarten. Dit komt doordat het systematisch inventariseren en classificeren van bodems vaak stopt zodra menselijke bewoning begint. En dat terwijl juist vanaf dat moment een compleet nieuw bodemecosysteem ontstaat. Wat betekent ophoging voor bodemvorming? Hoe ontwikkelt het bodemleven zich in dit soort woonwijken? Welke schimmels, bacteriën en ongewervelden vestigen zich daar en volgens welke tijdlijn? En wat betekent dit voor het ecosysteem dat hier zou kunnen ontstaan, uitgaande van natuurbeheer?



Om het nieuwbouwproject Westergouwe in Gouda mogelijk te maken, is in het oorspronkelijke laagveengebied zand opgebracht, noodzakelijk voor bewoning en gebruik.

Foto: Projectbureau Westergouwe

Zorgvuldig geregisseerde landschappen

De huidige praktijk van gebiedsontwikkeling en beheer ziet openbaar groen nog te vaak als een aanvulling op het gebouwde programma. Op basis van een ontwerp wordt een combinatie van soorten aangeplant, waarna het beheer zich richt op het in stand houden van precies dat beeld. Zelfs wanneer wordt gekozen voor inheemse en gebiedseigen soorten – bijvoorbeeld op basis van gidssoorten of principes zoals Basiskwaliteit Natuur – blijft het systeem meestal afhankelijk van menselijke sturing. Dit is terug te zien in de manier waarop natuurlijke processen worden gereguleerd. Organisch materiaal zoals blad wordt verwijderd om een 'net' beeld te behouden, terwijl tegelijkertijd soms wordt bemest voor het vitaal houden van de vegetatie. Daarmee ontstaat een paradoxale situatie: zelfs natuurinclusief ingerichte woonwijken functioneren vaak niet als ecosystemen, maar als zorgvuldig geregisseerde landschappen die permanent onderhoud nodig hebben zodat ze blijven voldoen aan het oorspronkelijke ontwerpbeeld. Net zoals een gebouw onderhoud nodig heeft om in stand te blijven, vraagt ook het openbaar groen continu om correctie en beheer.

De onzichtbare potentie van stadsnatuur

Een belangrijk onderdeel van verborgen stadsnatuur is daarom niet alleen de natuur die aanwezig is, maar juist ook de natuur die nooit de kans krijgt om zich te ontwikkelen. De soorten, bodemprocessen en spontane vegetaties die onzichtbaar blijven, omdat de vraag naar deze potentie niet wordt gesteld. De informatievoorziening die noodzakelijk is voor natuurbeheer stopt in de bebouwde situatie. Daarmee valt de cyclus van inventariseren en bijsturen stil. Zonder informatie over de condities van een gebied, zoals de bodemeigenschappen, blijft het ontwerp van de buitenruimte de enige kwaliteitsnorm waarop gestuurd kán worden.

Natuurpositieve gebiedsontwikkeling

Het project Verborgen Stadsnatuur heeft aangetoond dat er een enorme diversiteit aan microbieel leven aanwezig is in de stedelijke bodems. Door een strak regime van aanplant en beheer is het in zulke gebieden lastig een relatie te leggen tussen de bodem en de vegetatie. Om natuurontwikkeling in de stad en in nieuwbouwwijken dichterbij te brengen, hebben we zowel wetenschappelijke kennis als praktijkvoorbeelden nodig. De kleinst mogelijke stap is in iedere buurt of bij elke gebiedsontwikkeling een stuk grond te reserveren voor spontane natuurontwikkeling, te observeren wat er ontstaat en dit te accepteren als een stedelijk ecosysteem, in plaats van het als iets onwenselijks te bestrijden. Want voor een natuurpositieve gebiedsontwikkeling is het essentieel om beter te begrijpen hoe stedelijke ecosystemen functioneren, veranderen en zich herstellen. Pas wanneer het verborgen ecosysteem in de stad inzichtelijk wordt, kunnen we de leefomgeving daadwerkelijk beter achterlaten dan we haar aantroffen.

Hannako Bakker,
Heijmans NV

Paddenstoelen

Symbolen van overlevingskracht



Een Zadelzwam (*Polyporus squamosus*) in een oude esdoorn.

Foto: Peter-Jan Keizer

Behalve flora en fauna kom je in de stad ook een rijke funga tegen: schimmels en paddenstoelen die met slimme beleidskeuzes overal kunnen opduiken.

Opvallende voorbeelden zijn de Straatchampignon (*Agaricus bitorquis*) of de Toverchampignon (*Agaricus geesterani*) die dwars door een dikke laag asfalt of tussen strak gelegde tegels groeit. Beide soorten zijn saprotrofen: opruimers van de natuur die organisch materiaal in de bodem afbreken. Hoewel dit geldt voor ongeveer de helft van alle paddenstoelen, onderscheiden deze twee soorten zich door hun uitzonderlijke tolerantie voor extreme stedelijke omstandigheden, zoals een hoge zoutconcentratie in de bodem en sterke bodemverdichting. In tegenstelling tot veel andere paddenstoelen ontwikkelen en rijpen de straat- en toverchampignon grotendeels ondergronds, waarbij de hoed zich al opent voordat hij het oppervlak bereikt. Het resultaat is indrukwekkend: deze krachtpatsers kunnen met gemak stoeptegels omhoogduwen of zich een weg banen door scheurtjes in het asfalt. Een krachtig symbool van de verborgen natuur die zich niets aantrekt van menselijke constructies.

Paddenstoelen in de stad

Dat er een bijzondere en rijke funga in onze steden kan gedijen, is de afgelopen decennia steeds duidelijker geworden. De term 'funga' is de mycologische tegenhanger van flora en fauna; het omvat de totale diversiteit aan schimmels en paddenstoelen in een bepaald gebied. Twee bijzondere boeken hebben dit onderwerp op de kaart gezet. Rob Chrispijn publiceerde in 1999 het unieke werk Champignons in de Jordaan, gebaseerd op een jarenlange inventarisatie in Amsterdam waarbij maar liefst 1100 soorten paddenstoelen werden waargenomen. In contrast hiermee liet Hans Adema in Vliegenzwammen op het Rapenburg (2008) zien dat Leiden weer een geheel eigen funga herbergt, die wezenlijk verschilt van die in Amsterdam. Deze lokale verschillen zijn fascinerend, zeker omdat het Verborgen Stadsnatuur onderzoek op basis van omgevings-DNA suggereert dat er juist een sterke homogenisering optreedt in de bodembiodiversiteit van Nederlandse steden. Hoe kan het dat steden ondergronds op elkaar gaan lijken, terwijl we bovengronds verschillende soorten paddenstoelen blijven zien?

Boven- en ondergronds

Een belangrijke verklaring ligt in het feit dat wat wij bovengronds zien (de paddenstoel) slechts een fractie is van de werkelijke, verborgen diversiteit onder onze voeten. Er bestaat een duidelijke ontkoppeling tussen de bovengrondse vruchtlichamen en de ondergrondse mycelia – de netwerken van fijne, sterk vertakkende zwamdraden. Het mycelium is het eigenlijke organisme, terwijl de paddenstoel slechts het tijdelijke voortplantingsorgaan is.

Het mycelium is het eigenlijke organisme, terwijl de paddenstoel slechts het tijdelijke voortplantingsorgaan is.

Het is een bekend fenomeen in de mycologie (de studie van paddenstoelen en schimmels) dat je een locatie acht tot tien jaar lang intensief moet monitoren om een substantieel deel van de werkelijke diversiteit in kaart te brengen. Via omgevings-DNA kan echter veel sneller een beeld worden verkregen: in sommige gevallen duiken hiermee twee- tot viermaal zoveel soorten op als via traditionele waarnemingen. Veel schimmels



Donkere geelplaatrussula (*Russula cuprea*) en Netstelige heksenboleet (*Suillellus luridus*) onder linde in een wegberm. Het maaien en afvoeren van het maaisel verhindert het ontstaan van een dikke strooisellaag en helpt mee aan het verder verschralen van de bodem. Zo ontstaan er omstandigheden die gunstig zijn voor paddenstoelen die samenleven met planten via ectomycorrhiza.

Foto: Peter-Jan Keizer

Omgevings-DNA betekent een revolutie voor het in kaart brengen van de biodiversiteit in de bodem.

vervullen hun ecologische rol als recycler jarenlang ondergronds, terwijl ze slechts onder zeer specifieke klimatologische omstandigheden een paddenstoel vormen. Dat gebeurt niet altijd jaarlijks en vaak zeer kortstondig.

Moleculaire erfenis

Hoewel omgevings-DNA een revolutie betekent voor het in kaart brengen van de biodiversiteit in de bodem, kleven er ook nadelen aan. Een grote zorg voor onderzoekers is de zogeheten 'moleculaire erfenis' in het bemonsterde substraat. DNA kan in koude of zuurstofarme (anaerobe) bodems langdurig bewaard blijven, zelfs nadat het organisme zelf allang is gestorven. Doordat rustende sporen of afgestorven mycelium met daarin het overgebleven DNA in de metingen worden meegenomen, kan dit leiden tot een overschatting van de werkelijk aanwezige biodiversiteit. In tegenstelling tot het waarnemen van een levende paddenstoel, kan onderzoek van omgevings-DNA momenteel dus nog moeilijk onderscheid maken tussen een actief, vitaal mycelium en historische resten of toevallig aangewaaide sporen. Volgens recente studies kunnen beleidsmakers daarom voor de meest betrouwbare resultaten het beste voor een gecombineerde aanpak kiezen: het analyseren van omgevings-DNA, aangevuld met systematische observaties van vruchtlichamen. In dit laatste geval kunnen burgerwetenschappers een cruciale rol spelen.

Paddenstoelvriendelijk beheer in de stad

Schimmels vervullen essentiële functies in elk ecosysteem. Ze fungeren onder andere als opruimers, vormen symbiotische relaties met planten (mycorrhiza) of creëren leefruimte door op andere organismen te parasiteren. Er bestaat al veel informatie over welke stappen nodig zijn voor het creëren van paddenstoelvriendelijke omstandigheden in stadsparken en onverharde bermen, bijvoorbeeld op de website van de Nederlandse Mycologische Vereniging (zie ook de tips). Een paddenstoelvriendelijk maaibeleid verlaagt de stikstofdruk, waardoor het stedelijk groen een onmisbaar toevluchtsoord is voor veel soorten die door stikstofvervuiling uit bossen zijn verdwenen. Dit is uiterst belangrijk voor beleidsmakers om te weten.

Jorinde Nuytinck,
Naturalis Biodiversity Center

Het bodemleven in verticale tuinen

Hoe divers zijn bacterie- en schimmelgemeenschappen in een 'kunstmatig' ecosysteem?

Bij verticale tuinen is er geen direct contact met de bodem in de omgeving. Het is de vraag wat dit betekent voor de microbiële biodiversiteit.

In steden treffen we een enorme diversiteit aan bodems aan. Meestal bestaan deze bodems uit mengsels van materialen die van elders zijn aangevoerd. In nieuwe stadswijken in West-Nederland wordt bijvoorbeeld vaak rivier- of zeezand opgebracht en soms ook humusrijk zand uit oostelijke of zuidelijke provincies. Zulke stadsbodems zijn de groeiplaats van bomen, heesters en kruidachtige planten, maar vormen ook het leefgebied van een grote diversiteit aan ongewervelden en microben. Alles bij elkaar draagt dit bij aan gezond stedelijk groen.

Verticaal groen in de stad

Verticale tuinen zijn een bijzonder onderdeel van stadsgroen. In tegenstelling tot straatbomen of parken staan verticale tuinen niet direct in contact met de bodem in de buurt. In plaats daarvan groeien ze in kunststof modules, gevuld met zand, organische stof en klei. Dit grondmengsel zorgt voor een stabiele structuur. Langdurig onderzoek met vergelijkbare grond bij straatbomen heeft geleid tot deze keuze, die de beste resultaten geeft. Wel is de hoeveelheid bodem voor de planten in een verticale tuin per definitie zeer beperkt. In tegenstelling tot stadsbomen, moeten verticale tuinen voor een gezonde groei regelmatig worden bemest met organische of anorganische meststof. Bij bomen wordt na het planten doorgaans geen bemesting meer toegevoegd aan de gebruikte grondmengsels. In plaats daarvan moet het bodemleven zelf in staat zijn om voldoende voedingsstoffen vrij te maken die de bomen kunnen opnemen. Wel staan stadsbomen vaak geïsoleerd van elkaar en hebben ze – net als verticale tuinen – een minimaal grondvolume ter beschikking. Maar dankzij de activiteit van bodemdieren zijn deze bomen toch met de omgeving verbonden. Wanneer enige jaren na aanplant groeistagnatie optreedt, laten proeven met bemesting meestal een tijdelijke, sterke verbetering van de bomengroei zien.

Verticale tuinen zijn een bijzonder onderdeel van stadsgroen.

Wat leeft in de bodem van een verticale tuin?

In het project Verborgen Stadsnatuur is de diversiteit van micro-organismen (bacteriën en schimmels) in de bodem van verticale tuinen onderzocht. Gekeken is naar de vragen: wat leeft er en wat doen de bacterie- en schimmelgemeenschappen in dit 'kunstmatige' ecosysteem? Daarnaast zijn deze gemeenschappen vergeleken met wat er leeft in de grond aan de voet van de gevel met de verticale tuin. De onderzochte verticale tuinen bevinden zich aan twee gevels van een kantoorpand in Capelle aan den IJssel. Ze zijn in 2014 aangelegd met een mix van kruidachtige en houtige planten die winterhard zijn. Onderaan de modules is een strook met dezelfde grond als in de verticale tuin aangelegd, waarin Vuurdoorn (*Pyracantha coccinea*) groeit. Deze sterk doornige struik voorkomt dat voertuigen te dicht bij het groen van de verticale tuin parkeren. Met behulp van druppelslangen



Overzicht van de noordwestelijke verticale tuin in Capelle aan den IJssel, november 2022, 8 jaar na aanplant.

Foto: Huib Sneep



Detail van enkele soorten planten in de verticale tuin, waaronder Klimop (*Hedera helix*), Broodboom (*Aucuba japonica*) en Geranium (*Pelargonium zonale*).

Foto: Huib Sneep

wordt de beplanting via een timer regelmatig van water voorzien. In het groeiseizoen wordt hier vloeibare bemesting aan toegevoegd waarin zetmeelrijke organische stoffen zitten.

Rijk bodemleven

Voor het onderzoek zijn bij de strook met vuurdoorn onderaan de verticale tuin en bij vijf verschillende plantensoorten in de bakken in totaal 60 grondmonsters afgenomen. Ook de meststof is onderzocht. Door de verticale tuinen aan de meer zonnige oostkant en de schaduwrijke noordwestkant met elkaar te vergelijken, is gekeken of licht van invloed is op de bacterie- en schimmelgroei in de bodem. De soortensamenstelling van bacteriën en schimmels is in kaart gebracht met behulp van omgevings-DNA. De resultaten laten zien dat schimmelgemeenschappen niet verschillen tussen de zonnige en minder zonnige wand, maar wel per plantensoort. Er groeien niet meer of minder soorten op de ene plant dan op de andere, maar het zijn wel andere soorten. Voor bacteriën geldt hetzelfde: ook die verschillen per plantensoort. Bacteriën reageren daarnaast ook op de hoeveelheid zon: op de zonnige wand vinden we een andere bacteriesamenstelling dan op de minder zonnige wand, hoewel ze wel dezelfde ecologische functies vervullen. Het totaal aantal soorten bacteriën en schimmels is vergelijkbaar tussen de wanden en tussen de plantensoorten. Eén uitzondering: bij de vuurdoorn vinden we ongeveer 50 procent meer schimmels dan in de verticale tuinen. Het gaat om zo'n 750 genetische varianten, vergelijkbaar met wat je bijvoorbeeld in stadsparken aantreft. De verticale wanden lijken qua aantallen (rond de 500 varianten) meer op wat we vinden bij boomspiegels. Op basis van bestaande databases hebben we voorspeld wat de functie van de microben is. Bij de vuurdoornhaag komen meer bacteriën voor die verband houden met vervuiling. Tussen de groene wanden vinden we geen duidelijk verschil.

Kansen voor verticale tuinen

Deze resultaten van Verborgen Stadsnatuur laten zien dat het mogelijk is om in modules die niet gekoppeld zijn aan de bodem, toch een volwaardige bodemgemeenschap te creëren. Belangrijk hierbij zijn een langdurig goede bodemstructuur (voldoende zuurstofhoudend) en een variatie in plantensoorten. Regelmatige toediening van organische bemesting veroorzaakt geen verstoring in de soortenrijkdom van het bodemleven; deze blijft intact. De bodem onderaan de verticale wanden bevat meer en andere micro-organismen. Dit komt waarschijnlijk doordat deze bodem meer in contact staat met de omgeving en met insecten, en doordat materiaal uit de verticale tuinen naar de grond 'lekt'.

Huib Sneep, Greenwavesystems
Sjoerd Gremmen, Naturalis Biodiversity Center

Tips voor een biodiverse bodem

Zonder een gezonde bodem is er ook geen duurzame biodiversiteit. Dit kan je doen om goed voor die basis te zorgen.

Zo neem je 'de bodem is de basis' mee in ontwerp en beleid

- Ontwerp bovengronds en ondergronds integraal. De bodem is een randvoorwaarde voor klimaatadaptatie, biodiversiteit en stedelijke gezondheid.
- Denk in verbindingen: leg ondergrondse wortelstraten aan om de groeiplekken van meerdere bomen met elkaar te verbinden. Dit vergroot de veerkracht tegen droogte en hitte, en geeft ruimte en bewegingsvrijheid aan bodemorganismen.
- Voer een stabiel, langdurig groenbeleid op vaste locaties. Schimmels zoals mycorrhizapaddenstoelen hebben tijd en rust nodig om zich te ontwikkelen. Vermijd dus regelmatige ingrepen die de bodem verstoren.
- Ga bij stedelijke ontwikkelingen efficiënt te werk en maak de bodem niet onnodig vaak open. Voorkom bodemverdichting tijdens bouw en beheer, werk met bodemrustzones rondom oude bomen en ecologisch waardevolle plekken, en voorkom versnippering van groeiplaatsen door kabels en leidingen.
- Stem het beleid af op de lokale bodem. Welke maatregelen werken, hangt af van de bodemsoort en de gewenste planten- en diersoorten op die plek.
- Check de ondergrond vóór aanplant – Ga bij aanplant uit van minimaal 25 kubieke meter doorwortelbare groeiruimte voor elke boom, ongeacht de uiteindelijke boomgrootte. Gebruik bij toepassing van verharding altijd een gecertificeerd bomenzand of vergelijkbaar substraat met voldoende organische stof en ruimte voor het bodemleven.

Laat biodiversiteit en variatie voorop staan

- Houd rekening met het onzichtbare leven in de bodem voor een duurzame biodiversiteit.
- Laat meer open bodem toe in de stad, bijvoorbeeld door verharding rondom bomen weg te halen. Zelfs een kleine uitbreiding van boomspiegels heeft al positief effect op het bodemleven, want er zitten duizenden soorten schimmels en bacteriën in een kubieke centimeter grond. Meer open grond verbetert de wateropname van de bodem en geeft ruimte aan plantengroei, wat ook goed is voor insecten en vogels.
- Creëer variatie tussen wijken en steden. Het stads-bodem-microbioom is in veel Nederlandse steden opvallend gelijk. Probeer bij nieuw beleid aan te sluiten op de omliggende natuur, zodat lokale verschillen ontstaan. Besef: eenheidsworst is kwetsbaar. Hoe meer variatie in het ecosysteem, hoe kleiner het risico bij verstoringen.
- Richt niet alles hetzelfde in. Juist door verschillen aan te brengen, m.n. boomspiegels, parken of plaatsing van vijvers is er ruimte voor allerlei bodemdieren.
- Dood hout is belangrijk voor de bodem en het bodemleven: laat het waar mogelijk liggen in plaats van het direct af te voeren. Dood hout kan helpen om te sturen op ecologische leeftijdsopbouw in parken en bomenlanen, doordat het bijdraagt aan continuïteit in habitat, schaduw, bodemleven en schimmelnetwerken.



Paddenstoelvriendelijk beheer in parken en lanen

- Diversiteit en boomkeuze: Een grote variatie aan bomen is essentieel, met name soorten die samenleven met paddenstoelen zoals de eik, linde, berk en populier.
- Ruimte en habitat: Er moet voldoende ruimte zijn voor wortelstelsels. Daarnaast bieden keuzes zoals het aanleggen van snipperpaden een specifiek thuis aan houtminnende soorten in parken.
- Focus op ouderdom: Omdat bijzondere soorten pas verschijnen bij bomen ouder dan 40-50 jaar, is het behoud van oude lanen belangrijker dan de aanplant van nieuwe bomen.
- Potentie van open ruimtes: Naast de gebieden onder de bomen bieden ook ongestoorde gazons die al decennialang op dezelfde manier worden onderhouden een ideaal leefgebied voor zeldzame schraalgraslandpaddenstoelen.
- Bodemrust: Deze specifieke soorten zijn kieskeurig en gedijen enkel op plekken waar de bodemrust strikt gerespecteerd wordt.
- Aangepast maaibeheer: "Minder is meer": In plaats van wekelijks kortwieken, volstaat het om maximaal één keer per maand te maaien. Let op de 'sweet spot': Een maaihoogte van precies 3 centimeter is optimaal. Deze lengte voorkomt schade aan de kwetsbare bovenlaag en beschermt paddenstoelen tegen uitdroging.
- Afvoer van maaisel: Het (binnen vier dagen) weghalen van gemaaid gras is cruciaal om de bodem te verschralen. Dit gaat 'verruiging' (overheersing door grassen en brandnetels) tegen en creëert ruimte voor een grote diversiteit aan planten, insecten en paddenstoelen.
- Het belang van continuïteit: Grasland-paddenstoelen hebben jaren tot decennia nodig om zich te vestigen. Wanneer het beheer plots stopt, kunnen vervilting en verruiging het resultaat van jarenlang werk in slechts één seizoen tenietdoen.

Monitor bodemleven als succesindicator

- Laat bij nieuwe projecten en innovatieve oplossingen het bodemleven onderzoeken en monitoren. Een toenemende diversiteit aan bacteriën, schimmels, en wormen voorspelt vaak betere boomgroei op langere termijn.
- Breng zelf bodemdieren in kaart! Doe mee aan of organiseer lokale/landelijke initiatieven zoals de City Nature Challenge of Bodemdierendagen.

Denk ook verticaal

- Overweeg het plaatsen van een verticale tuin om biodiversiteit te verhogen.
- Als hier geen ruimte voor is: plaats plantenbakken, ook hierin zit al veel biodiversiteit.
- Zorg voor een variëteit aan planten om biodiversiteit te stimuleren.

Ben je op zoek naar meer inspiratie?

Kijk hier voor inspiratie voor een ontwerpmethode voor de openbare ruimte.

Doe hier ideeën op om te komen tot een vitaal bodemleven in de stad.

Kijk hier voor nuttige informatie en adviezen voor een gezond bodemleven.

Verdiep je hier in de Europese Soil Monitoring Law.



Stadse structuren als leefgebied

Combinatie van wilde planten en bomen (lindes) met veel korstmossen langs een Leidse kade.

Foto: Michael Stech

Mossen en korstmossen

Verborgen pareltjes in de stad

Veel mensen lopen eraan voorbij. Maar mossen en korstmossen zijn een belangrijk onderdeel van de verborgen stadsnatuur. Ze groeien op vrijwel elk stedelijk oppervlak.

Lange tijd gingen stedelijke gebieden in Nederland gebukt onder het juk van vervuiling. Maar in plaats van de levenloze stenen woestijnen van toen, zitten ze nu vol met leven en biodiversiteit, al moet je er soms wel wat meer in detail naar kijken. Dat is zeker het geval bij mossen en korstmossen; twee soortgroepen die je vrijwel overal tegenkomt, maar meestal niet opmerkt tijdens een blokje om of het boodschappen doen. Waarom ze belangrijk zijn en waar je ze kan vinden, lees je hier.

Mossen

We beginnen met de mossen – een groep die de meeste mensen wel kennen. Mossen zijn kleine plantjes die tijdens de evolutie van het leven op aarde zeer vroeg zijn ontstaan. Ze behoren tot de oudste landplanten. In aantal zijn ze ook niet te onderschatten. Zo vertegenwoordigen ze in ons land een kwart van alle landplanten. Als groep zijn ze verdeeld in bladmossen, levermossen en hauwmossen. Mossen verschillen van typische vaatplanten zoals bomen en kruiden doordat ze geen wortelstelsel hebben. Voor het opnemen van voedingsstoffen gebruiken ze hun kleine blaadjes, waarmee ze de voeding die ze nodig hebben rechtstreeks uit de lucht absorberen.

Korstmossen

De naam 'korstmos' zet je op het verkeerde been. Het is geen mos, en korstmossen hebben een heel andere evolutionaire oorsprong dan de mossen. Ze groeien wel vaak naast elkaar op dezelfde plekken. Een korstmos is een samenlevingsverband tussen een schimmel en een alg ((zie 'De kosmos van het korstmos'), waarbij de schimmel het grootste deel uitmaakt. Via fotosynthese voorziet de alg de schimmel van suikers. Op zijn beurt zorgt de schimmel voor water en mineralen. Een gelijkwaardige symbiose, dus. Net als mossen hebben korstmossen geen wortels en leven ze van zonlicht en van voeding uit de lucht. Ze groeien zeer traag, gemiddeld een centimeter per jaar.

Waarom zijn juist deze twee soortgroepen zo belangrijk voor de stad?

Allereerst werken mossen en korstmossen als een soort waarschuwingssysteem voor de toestand van hun leefomgeving. Zo laat de aan- of afwezigheid van een mos- en korstmosgemeenschap zien hoe het staat met de luchtkwaliteit, de hoeveelheid stikstof in de lucht en de temperatuur in de stad. Tijdens de fotosynthese halen mossen en korstmossen CO_2 uit de lucht, en bij het opnemen van hun voedingsstoffen werken ze ook als luchtfilters. Elk individu is klein, maar verdeeld over de hele stad bedekken ze een groot oppervlak. Aangezien zowel mossen als korstmossen heel wat water kunnen absorberen, dienen ze als buffer tegen hevige regenval. Daarnaast – en de opsomming is dan nog niet helemaal compleet – zijn mossen en korstmossen ook enorm belangrijk voor het voedselweb in de stad. Veel insecten zijn afhankelijk van mossen en korstmossen als voedingsbron en schuilplaats, en verschillende vogels gebruiken ze als nestmateriaal.



Oude baksteen-muur met mossen en korstmossen.

Foto: Laurens Sparrius



Weelderige bedek-king van mossen en korstmossen op een randsteen van een parkeerplaats.

Foto: Michael Stech

Waar kan je het beste naar ze op zoek gaan?

Mossen en korstmossen groeien op vrijwel elk oppervlak in de stad: van bomen tot stenen, en zelfs op onnatuurlijke plaatsen zoals metaal en plastic. Je hoeft er dus niet veel moeite voor te doen om ze te vinden. Zo leeft het stikstofminnende korstmos Groot dooiermos (*Xanthoria parietina*) op vrijwel elke laanboom. Het kan daar grote oppervlakten van de schors bedekken. Het mos Gesnaveld klauwtjesmos (*Hypnum cupressiforme*) is een dominante soort op bomen in de stad. Op de stoep vind je al snel Muurschotelkorst (*Protoparmeliopsis muralis*) en op bakstenen muurtjes groeit vaak Gewoon muisjesmos (*Grimmia pulvinata*).

Zuurgraad speelt een rol bij verspreiding

Toch komt niet elke soort overal voor. Behalve een voorliefde voor schors, steen of bodem, speelt ook de zuurgraad (pH) van het substraat een belangrijke rol. Zo trekt een eik, vanwege de zure schors, meer zuurminnende soorten aan dan bijvoorbeeld een linde. Als gevolg van de hoge stikstofuitstoot in Nederland wordt de schors van bomen minder zuur, waardoor zuurminnende soorten onder druk komen te staan. Door boomsoorten met verschillende zuurgraad van de schors aan te planten, kan de biodiversiteit van de mossen en korstmossen worden vergroot. Zo staat hardhout bekend om de zure schors, net als dood hout. Ook bij stenen als groeioppervlak voor mossen en korstmossen is de zuurgraad van belang. Op kalkrijke oppervlakken (die minder zuur zijn) vind je bijvoorbeeld Betoncitroenkorst (*Gyalolechia flavovirescens*). Graniet en leisteen zijn juist niet kalkrijk maar zuur en vormen een alternatief voor zuurminnende soorten.

Niet storen!

Een andere manier om een rijkere mos- en korstmosflora in steden te krijgen, is om minimaal schoon te maken en te verstoren. Oudere bomen en stenen herbergen namelijk een grotere diversiteit aan soorten. Daarnaast is het goed om met (korst)mossen begroeide daken en muren zo min mogelijk met chemicaliën te behandelen. Hoewel je deze begroeiing vaak ziet opduiken bij scheuren en andere beschadigingen, veroorzaken mossen en korstmossen zelf geen structurele schade. Ze kunnen dus gewoon blijven zitten: goed voor de biodiversiteit. Een mooi voorbeeld waar je in de stad een enorme verscheidenheid aan mossen en korstmossen kunt vinden, zijn oude begraafplaatsen. De aanwezigheid van een grote diversiteit aan boom- en steensoorten van verschillende ouderdom, gecombineerd met een weinig afwisselend beheer zonder al te grote ingrijpende veranderingen, levert doorgaans een verbluffend resultaat op: een mos- en korstmossen 'Walhalla' met vaak meerdere Rode Lijst-soorten.

Tim Claerhout,
Hortus botanicus Leiden

Laurens Sparrius,
Bryologische en Lichenologische Werkgroep (BLWG)



Hardhout langs een Leidse kade met een rijke mos- en korstmosflora, waaronder veel verschillende beker- en rendiermossen (*Cladonia* spp.).

Foto: Tim Claerhout

De kosmos van het korstmos

Een kijkje in een complex 'mini-ecosysteem'

Pas in de 19e eeuw werden korstmossen erkend als een symbiose tussen twee organismen. Nu wordt steeds duidelijker dat er een hele wereld achter schuilgaat.

In 1867 toonde de Zwitserse botanicus Simon Schwendener voor het eerst aan dat het korstmoslichaam bestaat uit een gemeenschap tussen een schimmel en een alg (groenwier) en/of een cyanobacterie. De classificatie en naamgeving van korstmossen vond met name plaats op basis van uiterlijke kenmerken, die grotendeels door de schimmel worden bepaald. Omdat korstmossen tegenwoordig worden gezien als meer dan een samenwerking tussen een alg en een schimmel, bieden ze een unieke kijk op hoe leefgemeenschappen van kleine organismen reageren op de druk van verstedelijking.

Korstmossen worden tegenwoordig gezien als meer dan een samenwerking tussen een alg en een schimmel.

Mini-ecosystemen

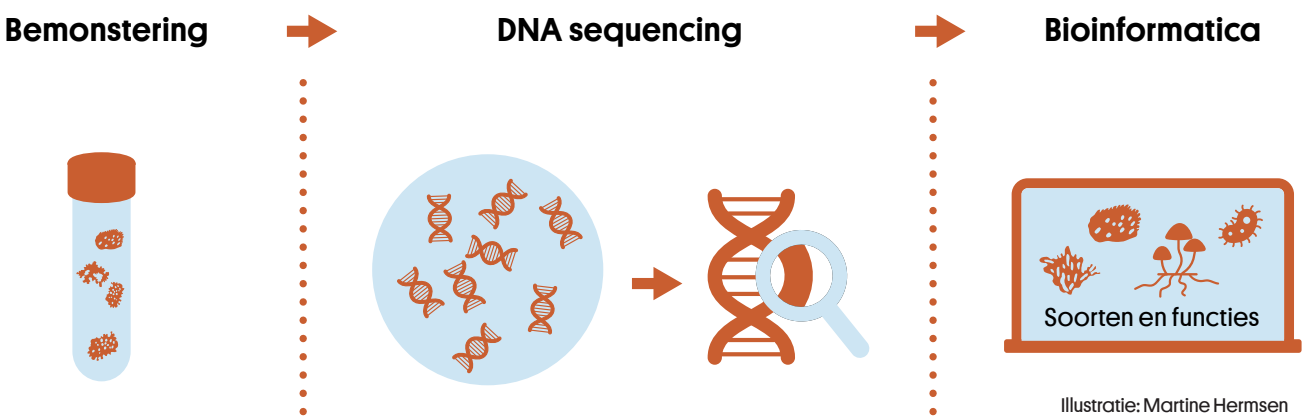
Recente studies laten zien dat korstmossen ook het thuis zijn van diverse bacteriële en schimmelgemeenschappen. Samen met de 'hoofdschimmel' en algenpartners vormen zij een stabiele eenheid – een holobiont. Eigenlijk zijn korstmossen dus complexe 'mini-ecosystemen'. De hoofdschimmel zorgt voor mineralen en water, en biedt structuur en bescherming aan de algen. De algenpartners maken suikers voor de schimmel door middel van fotosynthese. Tot zover was bekend hoe de symbiose in elkaar zit. Maar over de functionele bijdrage van de extra partners, en hun mogelijke betekenis voor stressfactoren waaraan korstmossen in de stad zijn blootgesteld, is nog veel onbekend.

Andere partners binnen het korstmos

Om de samenstelling en functies van bacteriën en schimmels in een korstmos-holobiont te analyseren, worden moderne DNA-technieken toegepast. Op basis van specifieke stukjes DNA, zogenoemde 'barcodes', laat metabarcoding zien welke organismen in de gemeenschap aanwezig zijn. Met metagenoom-analyse wordt het totale DNA in complexe gemeenschappen in beeld gebracht, en daarmee de variatie aan genen en welke functies daarbij horen. Door verschillende DNA-gegevens te integreren, is het mogelijk om allerlei kenmerken van de korstmos-holobiont in kaart te brengen, zoals de samenstelling, functionele capaciteiten, variatie aan inhoudsstoffen en overlevingsstrategieën. Dit levert kennis op over de bijdrage van de verschillende partners aan het ecologische succes van korstmossen in de stedelijke omgeving.

Samenstelling van korstmos-holobionten in de stad

Verschillende studies, waaronder het onderzoek van Hogeschool Leiden en Naturalis in het project Verborgen Stadsnatuur, tonen aan dat de samenstelling van de micro-organismen vooral afhangt van de soort korstmos. Variatie in de omgeving – bijvoorbeeld een natuurlijke locatie of de stad – speelt hierin een kleinere rol. Dit wijst op een stabiele kerngroep van micro-organismen die bestand is tegen externe verstoringen. Wel blijkt uit ander onderzoek dat wanneer je op grotere schaal kijkt, de geografische ligging en het klimaat van invloed kunnen zijn op de samenstelling van de bacteriegemeenschappen in korstmossen. Waarschijnlijk zijn



Illustratie: Martine Hermsen

deze partners dus geen tijdelijke kolonisten, maar vormen ze een integraal onderdeel van de korstmossymbiose. Er is sprake van een lange termijn relatie, waarbij korstmossen en hun micro-organismen wederzijds zijn aangepast. Een inzicht dat essentieel is om de functie en overleving van korstmossen in de stadse omgeving te begrijpen.

Genetische basis van de hoofdschimmelpartner

Dat een korstmos een holobiont is, helpt bij het ontrafelen van de functies van de hoofdschimmelpartner. Deze biedt niet alleen structurele ondersteuning voor de algen in het korstmoslichaam, maar produceert tevens complexe suikers. Samen met de bacteriële en schimmelgemeenschappen vormt dit een biofilm-achtige matrix aan de buitenkant van het lichaam. Deze matrix werkt als een soort 'exoskelet' dat het lichaam stabiliseert en de symbiotische partners bij elkaar houdt. De hoofdschimmelpartner levert dus het structurele en fysiologische 'thuis' van de holobiont. Daarnaast zorgt de genetische samenstelling van de hoofdschimmelpartner ervoor dat het korstmos zich kan aanpassen aan stressfactoren zoals uitdroging, UV-straling en een tekort aan voedingsstoffen. Stedelijke stressfactoren, zoals luchtvervuiling, uitdroging of hitte, kunnen ervoor zorgen dat de algenpartners minder suikers aanmaken, wat nadelig is voor de hoofdschimmelpartner. Door het kleurpigment melanine aan te maken, kan de hoofdschimmelpartner de algen tegen deze invloeden beschermen. De rol van de andere schimmels in de korstmosgemeenschap is nog grotendeels onbekend. Mogelijk hebben ze overlappende functies met de hoofdschimmelpartner. De genetische complexiteit bij schimmels en beperkte DNA-referentiedatabases maken deze functionele studies lastig.

Functies van bacteriële partners

Volgens DNA-onderzoek hebben de bacteriën in korstmossen diverse (potentiële) functies. Over het algemeen dragen ze waarschijnlijk bij aan de gezondheid van de korstmos-holobiont. Zo zorgen de bacteriën voor de productie van groei-regulerende stoffen en vitaminen, ondersteunen ze de opname van voedingsstoffen, helpen ze bij stikstofbinding, beschermen ze tegen stress, helpen ze ziekteverwekkers te weren, spelen ze een rol in de communicatie tussen de korstmospartners en beïnvloeden ze de activiteit van de algen. Ook dragen de bacteriën bij aan de veerkracht en stabiliteit van de holobiont onder uiteenlopende omgevingscondities. Bij veranderende omstandigheden kunnen subtiele verschuivingen in functies optreden tussen bacteriële en schimmelpartners, terwijl de holobiont als geheel functioneel stabiel blijft. Zo verlopen de bacteriële stofwisselingsprocessen van verschillende suikers vlotter bij minder stress en voldoende voedingsstoffen. In stedelijke omgevinwgen is dat anders. Daar worden korstmossen meer blootgesteld aan stressfactoren. Als reactie daarop activeren ze vaker mechanismen om beschadigingen aan hun DNA te herstellen.

Natuurlijke veerkracht

Samenvattend kunnen we zeggen dat de natuurlijke veerkracht van korstmossen niet alleen voortkomt uit de klassieke schimmel-alg-symbiose. Deze kan in hoge mate worden toegeschreven aan een gemeenschap van bacteriën en schimmels, inclusief de genetische eigenschappen die zij in zich dragen. De bacteriële partners vormen een stabiele, veelzijdige kern die stress opvangt, de stofwisseling ondersteunt en onder stedelijke omstandigheden het functioneren van de holobiont nauwkeurig afstemt. Juist in deze brede microscopische gemeenschap schuilt de sleutel tot het ecologische succes van korstmossen in de stad – en zij opent mogelijk ook deuren voor innovatieve biotechnologische toepassingen zoals nieuwe antibiotica, antioxidanten, smaakstoffen en UV-beschermende middelen.

Arjen Speksnijder, Ken Kraaijeveld en Floyd Wittink,
Leiden Centre for Applied Bioscience, Hogeschool Leiden

Mos: een oplossing voor stedelijke problemen?

Ecosysteemdiensten van mossen onder de loep

Mos kan positief bijdragen aan geluidsreductie, het ontlasten van het rioolsysteem bij piekbuien en in het voorzien van natuurlijke isolatie. Bovendien is het een effectieve fijnstoffilter.

Het is bekend dat het gebruik van groen in de stedelijke omgeving voordelen met zich meebrengt, zoals CO_2-opslag, verkoeling en een verbeterde luchtkwaliteit. Deze voordelen worden ook wel ecosysteemdiensten genoemd. En waar de ecosysteemdiensten van veel andere planten zoals bomen en struiken al zijn gekwantificeerd, was dit voor mossen nog niet eerder gedaan. Tijdens het project Verborgen Stadsnatuur is daar verandering in gebracht. Bij de Technische Universiteit Delft (TU Delft) zijn experimenten uitgevoerd om drie verschillende ecosysteemdiensten van mossen in kaart te brengen: akoestische absorptie, waterabsorptie en temperatuurregulatie. Om te begrijpen hoe deze ecosysteemdiensten voor mossen uitpakken, volgt eerst een korte introductie over de ecologie van deze bijzondere plantengroep.

Mossen kunnen water direct via het bladoppervlak opnemen.

Ecologie van mos

Het belangrijkste verschil tussen mossen en andere planten is dat mossen hun water en voedingsstoffen voornamelijk uit de lucht of uit het water op hun bladoppervlak halen.
Andere planten zijn voor hun voeding en water vrijwel geheel afhankelijk van de bodem. Bij mossen ontbreekt het wasachtige laagje op de bladeren dat bij andere planten verdamping – en dus vochtverlies – tegengaat. Dit maakt het mogelijk om water direct via het bladoppervlak op te nemen. Ook hebben mossen geen wortels, maar alleen wortelachtige draadjes voor de aanhechting op een oppervlak. Behalve dat mossen hierdoor in theorie op bijna elk oppervlak kunnen groeien, kleeft hier ook een nadeel aan: ze drogen veel sneller uit. Veel mossen zijn echter heel goed bestand tegen uitdroging. Ze kunnen weken, maanden en soms zelfs jaren zonder water. Belangrijke kanttekening hierbij is dat ze zonder water niet kunnen groeien. Om deze reden hebben veel mossen een groot totaal bladoppervlak en groeien ze vaak in sponsachtige structuren die water goed kunnen vasthouden. Dit is wel afhankelijk van de groep. Bladmossen, de grootste en in de stad meest voorkomende mossengroep, zijn op te delen in twee categorieën: topkapselmossen en slaapmossen. Topkapselmossen, zoals Gewoon muisjesmos (*Grimmia pulvinata*), groeien haaks op het oppervlak en vormen meestal kussentjes. Slaapmossen, zoals Gewoon dikkopmos (*Brachythecium rutabulum*), groeien meestal parallel aan het oppervlak en vormen meestal matten. In de experimenten hebben we beide mossengroepen gebruikt, en het blijkt dat slaapmossen een stuk sneller groeien, maar minder geschikt zijn voor toepassing in direct zonlicht. Topkapselmossen groeien juist langzamer, maar zijn over het algemeen beter bestand tegen extreme omstandigheden.

Akoestische absorptie

Groensystemen in de stad zijn goed in het absorberen van geluid; een ecosysteemdienst die ‘akoestische absorptie’ wordt genoemd. Deze geluidsabsorptie vindt vooral plaats in het



Onderzoeksopstelling voor het testen van mosgroei op beton.

Foto: Max Veeger



Onderzoeksopstelling om het effect van mos op de lokale temperaturen te bepalen.

Foto: Max Veeger

substraat waarin de planten groeien en niet zozeer door de planten zelf. Onze experimenten hebben laten zien dat mos hierop een uitzondering vormt. De sponsachtige structuur van het mos zorgt ervoor dat geluidsgolven als het ware worden 'gevangen' in het materiaal, waar ze worden omgezet in andere energievormen. Topkapselmossen vertoonden de hoogste akoestische absorptie. Gedraaid knikmos (*Ptychostomum capillare*) leverde de beste prestatie, met een gemiddelde geluidsabsorptie van 0,48. Deze waarde betekent dat dit mos bijna de helft van de geluidsenergie absorbeert.

Waterabsorptie

De sponsstructuur zorgt er ook voor dat mos goed water kan vasthouden, zelfs onder extreme regenval die als gevolg van klimaatverandering steeds vaker optreedt. Vooral in de stad kunnen deze piekbuien veel overlast veroorzaken. In een simulatie van 10 millimeter regenval in 10 minuten bleek dat opnieuw de topkapselmossen het beste presteerden. Zij bleken in staat om de waterafvoer tot ruim 51 procent te reduceren. Daarnaast zorgde het mos er ook voor dat het langer duurde voordat de afvoer van het water op gang kwam. Deze combinatie van eigenschappen zou in de toekomst kunnen helpen om bij grootschalige toepassing van deze mossen het riool tijdens extreme regenval te ontlasten.

Temperatuurregulatie

Waar andere groensystemen door het creëren van schaduw en verdamping voornamelijk een koelend effect plus een klein tot middelgroot isolerend effect hebben, heeft de toepassing van mos andere gevolgen. Dat komt doordat mos een groter deel van de invallende zonnestraling absorbeert dan andere planten of bouwmaterialen. Wanneer mos in direct zonlicht wordt toegepast, heeft het dus een verwarmend effect. Tijdens de experimenten bleken ook in dit opzicht topkapselmossen sterker te scoren dan slaapmossen. In de winter kan deze opwarming een positief effect zijn, maar in de zomer juist niet. Aan de andere kant heeft mos ook een isolerend effect, wat binnentemperaturen kan stabiliseren. Op locaties waar hittestress een probleem is, kan mos dan ook het beste in de schaduw worden toegepast, of in combinatie met bewatering. In dit laatste geval is de benodigde hoeveelheid water meestal lager dan die van de meeste andere groensystemen.

Max Veeger,
Technische Universiteit Delft

Mossen op de muur

Gevels en geluidsschermen als klimaatadaptieve kansen

Met de Respyre-technologie groeien levende mossen op speciaal behandeld beton. Een toepassing die bijdraagt aan een gezonder stedelijk klimaat en meer biodiversiteit.

Steden staan voor een dubbele opgave: ze moeten compacter en duurzamer worden, terwijl de effecten van hittestress, luchtvervuiling en verharding toenemen. Vergroening is inmiddels een vast onderdeel van stedelijk beleid, maar veel oppervlakken blijven onbenut. Juist daar ligt een mogelijkheid voor verborgen stadsnatuur: verticale vlakken zoals gevels en geluidsschermen vormen een robuuste, schaalbare en onderhoudsarme kans voor vergroening. Vanuit deze optiek heeft Respyre – een startup van de Technische Universiteit Delft – een technologie ontwikkeld die levende mossen laat groeien op 'bioreceptief' beton: een ondergrond die zodanig is samengesteld en afgewerkt dat het geschikt is voor de natuurlijke hechting en groei van mossen. Hierdoor worden grijze structuren getransformeerd in zelfvoorzienende groene elementen zonder grond, substraat of traditionele beplantingssystemen. Een prachtige oplossing die bijdraagt aan een gezonder stedelijk klimaat en meer biodiversiteit.

Mosvergroening biedt steden een slimme kans om zich aan te passen aan het veranderende klimaat.

Het potentieel van mos in de stad

Mos is een unieke vorm van vegetatie voor dichtbebouwde omgevingen. Het heeft geen wortels, stelt weinig eisen aan voedingsstoffen en haalt vocht en voeding uit regen, mist en irrigatie. Mossen werken als natuurlijke micro-sponzen: ze nemen water op en verdampen dit geleidelijk, wat op kleine schaal zorgt voor passieve koeling. Ook verbeteren mossen de luchtkwaliteit door fijnstof vast te houden. Daarnaast kunnen veel mossoorten langdurig droogte verdragen en herstellen zij zich wanneer vochtige omstandigheden terugkeren. Al deze eigenschappen maken mossen geschikt om te kunnen overleven in een sterk wisselende omgeving zoals de stad.

Gevels en gevelrenovatie

Een groot deel van het stedelijk oppervlak bestaat uit verticale bouwdelen. Allerlei bezwaren – technisch, financieel of vanwege het onderhoud – zorgen ervoor dat de meeste gevels niet worden benut voor vergroening. Maar dit kan anders met mossen op de muur. Met bioreceptieve mortels en een mos-coating kunnen bestaande en nieuwe gevels worden voorzien van een poreuze toplaag waarop mos zich hecht en ontwikkelt.

Het systeem dat door Respyre hiervoor is ontwikkeld, doorloopt de volgende stappen:

- Voorbereiding van de ondergrond: reinigen, stabiliseren en beoordelen van geschiktheid.
- Aanbrengen van een bioreceptieve laag via pleisterwerk, prefab panelen of shotcrete (spuitbeton) – afhankelijk van de renovatiebehoefte.
- Een gecontroleerde 'curingfase' van circa twee weken voor het creëren van een stabiel, voor mos geschikt microklimaat in de bioreceptieve laag.
- Aanbrengen van de moscoating door middel van een uniforme spuittechniek.
- Irrigatie gedurende de volledige



Demonstrator project met geprefabriceerd mosbeton, toegepast op utiliteitsbouw in Venray, ca. 6 maanden na aanbreng.

Foto: Respyre

vestigingsperiode; een eerste zichtbare groei ontstaat doorgaans na zes weken.
- Na drie tot zes maanden ontwikkelt zich een volwassen, gesloten moslaag die daarna grotendeels zelfvoorzienend wordt.

Deze aanpak maakt gevelvergroening haalbaar in situaties waar traditionele groene gevelsystemen te zwaar, te duur of te complex zijn. De resultaten laten zien dat dit leidt tot visueel aantrekkelijke gevels die temperatuurpieken temperen en de luchtkwaliteit verbeteren, zonder dat intensief beheer nodig is.

Geluidsschermen en infrastructuur

Behalve gevels vormen geluidsschermen langs bijvoorbeeld snelwegen een van de grootste onbenutte opties voor vergroening in stedelijke regio's. Deze geluidsschermen bestrijken een verticaal oppervlak van vaak honderden tot duizenden vierkante meters. Door toepassing van bioreceptieve coatings en vooraf gefabriceerde bioreceptieve panelen kunnen deze constructies worden getransformeerd in levende groene mosschermen die eentonige plekken zoals wegen en viaducten een stuk aantrekkelijker maken. Daarnaast hebben ze meerdere praktische voordelen. Ze verbeteren de luchtkwaliteit, dempen verkeersgeluid langs drukke wegen en bieden leefgebieden aan diverse organismen, wat de lokale biodiversiteit ten goede komt.

Hoe werkt het?

Het bioreceptieve beton van Respyre is een combinatie van gerecyclede betonaggregaten met een laag-CO_2 bindmiddel en een specifiek ontwikkelde powerpack die zorgt voor het optimaliseren van de porositeit, pH-waarde en vochtbalans. Het materiaal is bestand tegen vorst-dooicycli en gaat lang mee. Daarnaast is een unieke coating van mosfragmenten en mossporen ontwikkeld, waarin naast bindingsmiddelen ook voeding voor de mossen zit. Wanneer de moscoating op de muur is aangebracht, vormen de mossen een beschermende laag die UV-straling, regendruk en temperatuurfluctuaties dempt. Door de zelfregulerende groei is geen snoei of structureel onderhoud nodig; alleen irrigatie tijdens de vestiging is essentieel.

Slimme kansen voor klimaatadaptatie

Mosvergroening biedt steden een slimme kans om zich aan te passen aan het veranderende klimaat, zonder dat er grote ingrepen in de openbare ruimte nodig zijn. Verticale vergroening maakt optimaal gebruik van bestaande oppervlakken en er is geen concurrentie met de ruimte die bijvoorbeeld nodig is voor verkeer, parkeren of ondergrondse leidingen. Bovendien sluit mosvergroening goed aan bij plannen voor renovatie, onderhoud en verduurzaming.

Auke Bleij en Maarten Dols, Respyre

Maatschappelijke opgaven oplossen met biodiversiteit

Provincie Noord-Holland investeert in kennis voor natuurinclusieve oplossingen

Voor provincies zijn de onderzoeksvragen van Verborgen Stadsnatuur niet abstract. Het zijn puzzelstukjes die ons leren hoe we onze leefomgeving toekomstbestendig kunnen maken.

In Noord-Holland groeit het besef dat natuur meer is dan iets om van te genieten. De provincie werkt al - samen met partners - aan de verduurzaming van infrastructuur en natuurgebieden die zij beheert. Doelstellingen zijn onder andere CO2-reductie, schonere lucht, klimaatadaptatie en het versterken van de biodiversiteit. Biodiversiteit helpt ons ook actief bij het oplossen van maatschappelijke opgaven. Van bomen tot mossen tussen stoeptegels tot groen langs snelwegen: natuur vermindert luchtvervuiling, dempt geluid en verlaagt hittestress tijdens warme zomers. De natuur doet meer dan we denken – en vaak ongemerkt.

Praktische kennis voor een toekomstbestendige leefomgeving

Precies daarom heeft de provincie Noord-Holland zich aangesloten bij het project Verborgen Stadsnatuur. Niet vanaf de zijlijn, maar als partner die wil meebewegen én meeliften op de resultaten. Het project brengt in kaart welke voordelen het 'kleine leven' ons oplevert. Dit deel van de biodiversiteit krijgt nu nog weinig aandacht in het (provinciaal) beleid. Bijvoorbeeld mossen op beton. In het hoofdstuk 'Mos: een oplossing voor stedelijke problemen?' is te lezen hoe onderzoekers van de Technische Universiteit Delft (TU Delft) kijken naar vragen zoals: hoeveel koelte geeft een groene wand? Welke planten filteren fijnstof het best? En hoeveel geluid wordt erdoor gereduceerd? Voor de provincie zijn dat geen abstracte vragen. Het zijn puzzelstukjes in een groter verhaal: hoe maken we onze leefomgeving toekomstbestendig? Door harde data te verzamelen, en die te vertalen naar praktische oplossingen, kan natuur straks bewuster worden ingezet in steden, dorpen en infrastructuur.

Bewoners als onmisbare schakel

Het project Verborgen Stadsnatuur richt zich niet alleen op metingen en technologie. Ook bewoners spelen een belangrijke rol. Zij denken mee over natuurinclusieve oplossingen in hun eigen buurt. Dat sluit goed aan bij de visie van de provincie: natuurinclusief bouwen werkt het best wanneer mensen daadwerkelijk betrokken zijn. Als je er met je neus bovenop zit, ontdek je pas echt wat natuur allemaal voor ons doet.

Mosbeton langs de N201: biodiversiteit in de praktijk

Een Noord-Hollands voorbeeld: Wie over de N201 langs Hoofddorp rijdt, ziet straks meer dan alleen een geluidsscherm. Langs de weg staat een wand van betonnen platen die eerder dienst deden als damwand in een oeverproject. In plaats van te worden afgedankt, krijgen ze hier een tweede leven. Op het beton groeit een laag mosbeton. In de loop van de tijd verandert de wand daardoor in een levend, groen oppervlak. Het mos verzacht het aanzicht van het beton, dempt het verkeersgeluid en helpt de lucht te zuiveren. Dit voorbeeld laat zien hoe bestaande materialen en natuur samen een nieuwe functie kunnen krijgen. Het onderzoek en de ontwikkeling van het mosbeton worden begeleid door Respyre, waarover je meer kunt lezen in het hoofdstuk 'Mossen op de muur'. Het bedrijf komt voort uit lopend onderzoek aan de TU Delft en loopt voorop in groene toepassingen voor gebouwen.

Investeren in kennis loont

Met Verborgen Stadsnatuur wil provincie Noord-Holland ervaringen zoals met het mosbeton verdiepen en verbreden. Daarom levert de provincie niet alleen een steunbrief, maar ook een financiële bijdrage. Want investeren in kennis over biodiversiteit betekent investeren in een gezondere, slimmere en meer veerkrachtige provincie.

Bon Uijting, Provincie Noord-Holland

Wilde bijen in de stad

Het belang van nestgelegenheid en voedsel

Open grond, dood hout, bladafval, de juiste bloemen, gefaseerd en niet overal even intensief maaibeheer, ruimte voor ruigten en meer: zo help je de bij.

De stad is tegenwoordig – op natuurgebieden na – het belangrijkste leefgebied voor wilde bijen en veel andere insectensoorten. Het landelijk gebied is grotendeels niet of nauwelijks meer van belang. Hoe geschikt een stad is voor wilde bijen, hangt vooral af van de inrichting en het beheer van de groene ruimte. Hier ontdek je de belangrijkste aandachtspunten.

Open grond is cruciaal

Nestgelegenheid moet te vinden zijn op enkele tientallen tot een paar honderd meter afstand van bloeiende planten. Ook moeten deze plekken minimaal een deel van de dag in de zon liggen. Ongeveer 80 procent van de wilde bijensoorten nestelt in de grond. Open grond in de stad is dus niet alleen cruciaal voor het microbiële bodemleven (zie 'Een thuis voor duizenden microben'), maar ook voor de bijendiversiteit. Om te nestelen gebruiken wilde bijen vooral leemhoudend zand en zavel, maar er zijn ook soorten die voor klei of stuifzand kiezen. Kale of nauwelijks begroeide plekken zoals onverharde paden hebben de voorkeur. Steilkanten, die bijvoorbeeld zijn ontstaan door het uitslijten van paden, bieden onderdak aan weer andere soorten. Er zijn ook soorten die heel kort gemaaid gazon kunnen gebruiken, vooral op een zonnige helling waar de grond goed warm wordt en snel opdroogt.



Bijenheuvel

Foto: Erik van der Spek



Gefaseerd knotten van wilgen

Foto: Erik van der Spek

Dood hout

Holle stengels en (kever)gangen in dood hout of steen vormen voor andere soorten nestgelegenheid. Als dode bomen moeten worden geveld, is het beste om deze tot een veilige hoogte in te korten, bijvoorbeeld tot drie meter. Het maken van een kunstwerk van een dode boom die mag vergaan, kan een goed alternatief zijn voor staand dood hout. Op plekken waar dood staand hout ontbreekt, is het plaatsen van bijenhotels een goed alternatief. In schoolverband is dit van educatieve waarde. Bij voorkeur wordt een bijenhotel gecombineerd met een bijenheuvel of bijenburcht.

Bladafval

Een klein aantal wilde bijensoorten nestelt in ruigte of tussen afgevallen blad. Zo maakt de moshommel gebruik van niet-gemaaide vegetatie die een jaar mag overstaan (niet wordt gemaaid). Het laten liggen van gevallen blad tussen de struiken helpt de (verborgen) stadsnatuur zowel in als op de bodem, van bacteriën tot bijen tot egels.

Voedsel

Bijna alle wilde bijen voeden hun larven met een mengsel van stuifmeel en nectar. Dat stuifmeel moet voor sommige soorten van één specifieke plantensoort komen, of van een beperkt aantal. Voor wilde bijen leveren vooral inheemse (West-Europese) soorten geschikt voedsel. Planten die gekweekt zijn met veel bloembladen hebben vaak geen of weinig stuifmeel. Daardoor zijn ze voor bijen ongeschikt. Bloeiende planten moeten van het vroege voorjaar tot ver in de herfst aanwezig zijn.

Maaibeheer

Afhankelijk van de hoofdfunctie van een gebied kan het beheer worden aangepast – qua intensiteit en fasering – om wilde bijen en andere insecten te helpen. Hoewel mensen soms aan dit beheer moeten wennen, levert het een aantrekkelijkere woonomgeving op, uitdagender werk voor groenbeheerders en misschien zelfs wat kostenbesparing. Door niet overal dezelfde intensieve aanpak te hanteren als in het zwaarst beheerde deel van een bepaald gebied, valt al veel te winnen. Fasering van de beheerwerkzaamheden voorkomt dat lokaal geen voedsel voor wilde bijen aanwezig is. En er blijft ruimte beschikbaar voor insecten in alle levensfases. Denk aan eieren, poppen en rupsen van vlinders, of volgroeide exemplaren die nog niet uitvliegen en ‘hun’ plant niet kunnen verlaten. Jaarlijks zou



Gefaseerd maaien van een gazon

Foto: Erik van der Spek

minimaal 10 procent van de oppervlakte niet beheerd moeten worden om niet-vliegende soorten en verschillende levensfases te behouden.

Gazons

Vanwege hun functie hebben gazons in parken een intensief maaibeheer nodig, maar ook hier kan dit gefaseerd gebeuren. Door per maaibeurt verspreid over het gazon de helft te maaien, blijven in de rest ervan bloeiende planten zoals paardenbloem en witte klaver voor wilde bijen en andere insecten binnen vliegafstand beschikbaar. Is een park groot genoeg om delen van het gazon als bloemrijk grasland te beheren, dan neemt de ecologische waarde van het gebied verder toe.

Het beheer van een gebied kan worden aangepast – qua intensiteit en fasering – om wilde bijen en andere insecten te helpen.

Bloemrijk grasland

Bloemrijk grasland moet één of twee keer per jaar worden gemaaid. Faseren is vooral bij vaker maaien gewenst. Bij de eerste maaibeurt – wanneer de voorjaarsbloei bijna voorbij is – wordt de helft van de oppervlakte in verspreide delen gemaaid. Na de zomerbloei krijgen de resterende delen een maaibeurt, met uitzondering van de 10 procent die dat jaar blijft staan. Bij voorkeur gebeurt het maaien zo laat mogelijk, nadat de plantengroei is gestopt. Hoewel dit verschilt van jaar tot jaar, zou het maaien – bij een geschikte grondwaterstand – na 1 november moeten gebeuren. Late soorten, maar ook hommelkoninginnen, profiteren dan nog van de laatste nectar en stuifmeel en voorjaarskruiden krijgen meer ruimte vanwege minder nagroei van grassen.

Ruigten

Ruigten op braakliggende gronden of bewust als ruigte beheerde percelen kunnen zeer kruidenrijk zijn. Ze zijn daarmee van groot belang voor wilde bijen en andere insecten. De bodem is vaak schraal; een maaibeheer zoals op bloemrijk grasland is hier gewenst. Bij langdurige braakliggging kan het aandeel grassen toenemen. Het jaarlijks ploegen, spitten of frezen van een klein deel van de oppervlakte stimuleert de instandhouding van de ruigteomstandigheden.

Struiken afzetten

Ook bij het vlak boven de grond afzagen of 'afzetten' van struiken en boomsingels is gefaseerd werken van groot belang, vooral bij drachtplanten die bloeien in periodes dat er weinig anders bloeit. Dit geldt in het bijzonder voor (knot)wilgen, die voor veel voorjaarssoorten de enige of belangrijkste leverancier zijn van stuifmeel en nectar. Per jaar moet niet meer dan een derde van de struiken of bomen worden afgezet. Bij voorkeur volgt het derde deel op zijn vroegst na twee jaar, bij grotere oppervlakte over het gehele gebied groepsgewijs verspreid.

Concurrentie van honingbijen

Honingbijen gebruiken voedsel dat niet meer voor wilde bijen beschikbaar is. Wanneer plaatsing van volken honingbijen is toegestaan, zou dit moeten worden beperkt tot een half volk per hectare, met alle kasten op één locatie aan de rand van het gebied. Zo kan er zonering door afstand optreden. Deze locatie moet bij voorkeur niet naast de meest geschikte nestlocaties liggen. Wilde bijen zijn overigens betere bestuivers dan honingbijen.

Erik van der Spek,
Nederlandse Entomologische Vereniging

Tips voor het kleine leven bovengronds



Zo koester je mossen, korstmossen, bijen en andere insecten die zoveel gunstige effecten hebben op onze leefomgeving.

Geef kleine organismen de ruimte

- Zorg voor een diverse aanplant van boomsoorten als groeiplek voor uiteenlopende (korst)mossen en andere organismen, zoals boomsoorten met een zure of basische schors. Inheemse eiken, wilgen en populieren herbergen (potentieel) een grote diversiteit aan zowel mossen en korstmossen als insecten. Ook iepen, lindes en vooral essen zijn belangrijk voor (korst) mossen, en veel insecten leven van berken, elzen en kersenbomen.

- Pas verschillende steensoorten toe voor extra leefgebied voor mossen en korstmossen. Zoals bij bomen is ook bij stenen het verschil in zuurgraad belangrijk.

- Niet storen: Laat bomen zo oud mogelijk worden en maak oppervlakken van steen en hout zo min mogelijk schoon.



Kijk naar gevels als kansen voor vergroening en klimaatadaptatie

- Denk vanuit verborgen stadsnatuur: gevels en andere onbenutte verticale oppervlakken zijn ideale plekken voor mosvergroening. Behandel ze als volwaardige kansen voor vergroening.
- Combineer mosvergroening met renovatie en onderhoud: bioreceptieve lagen – speciale oppervlaktebehandelingen of materialen die zijn ontworpen om de groei van mossen, korstmossen en algen actief te bevorderen – zijn licht, circulair en geschikt voor bestaande bouw.
- Zet in op onderhoudsarme klimaatadaptatie: mossen verbeteren de luchtkwaliteit en helpen gebouwen thermisch te isoleren, zonder grote installaties of intensief onderhoud.
- Groene gevels, schaduw en verkoeling door bomen en waterbuffering in de bodem kunnen elkaar versterken en samenwerken als één systeem voor klimaatadaptatie en biodiversiteit.

Zo steun je wilde bijen en andere insecten

- Maai gazons per keer voor maximaal de helft, verspreid over verschillende delen.
- Sla jaarlijks zeker 10 procent van bloemenweiden en ruigten over met maaien.
- Verschraal bloemenweiden en ruigten door bij de eerste maaibeurt in één keer de helft te maaien.
- Hanteer in het afzetten van wilgen en andere drachtbomen een cyclus van (minimaal) drie jaar; zet elk jaar in een opeenvolgende volgorde een derde van de bomen af.
- Creëer zonnige plekken en steilkanten met kale bodems.
- Zorg voor de aanwezigheid van dood hout en takken voor nestholtes, zo nodig via kunstnesten.
- Zorg voor de aanwezigheid van ruigtes voor wilde bijensoorten die hierin nestelen.
- Laat honingbijen eventueel in beperkte mate toe; alleen wanneer veel bloeiende planten aanwezig zijn;
- Geniet van alle wilde bijen die baat hebben bij bovengenoemde tips!

Denk ook aan de nacht

- Het beperken van kunstlicht in groenstructuren en het werken met ecologische corridors is belangrijk voor nachtactieve insecten en grotere dieren, vooral vleermuizen.



Biodiversiteit meetbaar maken

Demo-opstelling van een pop-up laboratorium voor DNA-monitoring in het veld. Op de voorgrond bedient Arjen Speksnijder de sequencingapparatuur, terwijl Rob Pastoor bij een boom monsters verzamelt voor analyse.

Foto: Lotte Zuidersma

Genetische monitoring

Biodiversiteit meten met DNA-technieken

DNA-technieken bieden instrumenten om de onzichtbare stadsnatuur in beeld te brengen en te koppelen aan de dagelijkse praktijk van plannen, bouwen, beheren en samenleven.

Dieren, planten en micro-organismen zijn niet alleen op zichtbare kenmerken van elkaar te onderscheiden, maar ook op basis van hun genetisch materiaal: het DNA. De afgelopen decennia hebben DNA-technieken onze kijk op biodiversiteit ingrijpend veranderd.

Soorten met DNA herkennen en opsporen

Een veelgebruikte methode voor genetische identificatie is het lezen van een stukje DNA als DNA-barcode. Verschillen tussen de DNA-barcodes worden gebruikt om soorten te herkennen. De herkenning zelf is gebaseerd op het vergelijken van de barcode van het nog ongeïdentificeerde organisme met een database waarin barcodes van soorten zijn vastgelegd. Deze benadering is ook bruikbaar om mengsels van soorten te analyseren, bijvoorbeeld in bodemmonsters. Dit heet: DNA-metabarcoding. In plaats van soorten alleen te tellen via veldwaarnemingen of vangsten, kan DNA uit bodem, water of lucht worden gebruikt om vast te stellen welke organismen aanwezig zijn. Zelfs wanneer die organismen zijn verdwenen, is hun DNA terug te vinden in huidcellen, uitwerpselen of andere restjes die ze hebben achtergelaten. Zulke genetische sporen worden ook wel omgevings-DNA of environmental DNA (eDNA) genoemd. Deze vorm van genetische monitoring maakt het mogelijk om zelfs hele leefgemeenschappen op een efficiënte manier in kaart te brengen. Dit past goed bij het begrip 'verborgen biodiversiteit' en bij de uitnodiging om op een andere manier naar de stad te kijken: niet alleen naar de zichtbare soorten en stedelijke groenstructuren, maar naar de volledige ecologische netwerken die daaronder schuilgaan.

Van DNA-barcode naar genoomanalyse

Om een DNA-barcode te kunnen lezen wordt gebruikgemaakt van DNA-sequencing technieken. Hierin wordt de PCR-methode toegepast om het stukje DNA dat moet worden gelezen, te vermeerderen. Deze vermeerdering zorgt voor een gevoelige detectie, ook als slechts weinig DNA van een organisme aanwezig is. Maar er kleven ook nadelen aan deze methode. Aantallen en verhoudingen tussen soorten kunnen vertekend zijn, omdat de barcodes van sommige soorten zich makkelijker laten vermenigvuldigen dan die van andere soorten. Een ander probleem van barcodes is dat de gebruikte stukjes DNA vrij kort zijn en soms bij nauw verwante soorten te weinig van elkaar verschillen. Daardoor kunnen soorten op deze manier niet altijd even nauwkeurig op naam worden gebracht. Om deze nadelen te ondervangen, bestaat een relatief nieuwe techniek: shotgun metagenomics. Hierbij is de PCR-methode niet nodig en komt meer informatie voor het identificeren van soorten beschikbaar. Bij shotgun metagenomics wordt niet één specifiek deel van het DNA gebruikt, maar elk willekeurig

stukje DNA dat beschikbaar is vanuit een omgevingsmonster. Deze techniek kan een specifieker onderscheid op soortniveau maken en is bovendien direct te gebruiken om te achterhalen welke mogelijke functies de soorten in hun leefgemeenschap vervullen. Door bij het bestuderen van verborgen stadsnatuur zowel de PCR-methode als shotgun metagenomics toe te passen, krijg je behalve een gedetailleerd beeld van de soortenrijkdom ook een indruk van de functies die deze natuur vervult. Zo wordt bijvoorbeeld duidelijk welke microben helpen bij nutriëntenkringlopen, welke schimmels essentieel zijn voor boomgezondheid en hoe bodemgemeenschappen reageren op droogte, hitte of verontreiniging.

Samenwerking tussen wetenschap en praktijk

Voor de praktische toepassing van DNA-barcoding of metagenoomanalyse in het monitoren van de biodiversiteit, zijn goede referentiedatabases nodig. Dit zijn verzamelingen van DNA-profielen van soorten waarmee veldmonsters vergeleken kunnen worden zodat de resultaten betrouwbaar en bruikbaar zijn. Van steeds meer organismen komen DNA-barcodes als referentie beschikbaar. In Nederland wordt daar onder meer aan gewerkt in het ARISE-programma van Naturalis en partners. Ook groeit de hoeveelheid data over de leefgemeenschappen van micro-organismen in de stedelijke omgeving, onder andere dankzij het project Verborgen Stadsnatuur. Dit betekent dat er steeds meer toegankelijke instrumenten en diensten ontstaan: van standaard meetprotocollen tot analysetools en adviesproducten die genetische informatie vertalen naar concrete kaarten, indicatoren en handelingsperspectieven. Door actief samen te werken met kennisinstellingen, adviesbureaus en citizen science-projecten kunnen steden DNA-monitoring stap voor stap verweven in beleid, ontwerp en beheer.

DNA-monitoring als praktisch instrument

Om een indruk te krijgen van de meerwaarde van DNA-monitoring in de dagelijkse praktijk, hebben we hier een aantal concrete mogelijkheden op rij gezet.

- **Onderbouwen van ontwerp en planning**
  Bij de aanleg van parken, groenblauwe structuren, groene daken of nieuwbouwgebieden kan DNA-onderzoek laten zien hoe het bodemleven en andere verborgen soorten er vóór en na de ingreep uitzien. Dit helpt om ontwerpkeuzes te toetsen: leiden bepaalde maatregelen tot meer functionele biodiversiteit, of blijft de ondergrondse natuur achter? Met eDNA-metingen kan bijvoorbeeld de diversiteit van bodemschimmels en bacteriën in kaart worden gebracht, wat zichtbaar maakt of een herinrichting daadwerkelijk een gezonder bodemleven oplevert.

- **Bijsturen van beheer en onderhoud**
  Regelmatige DNA-metingen in bodem of water maken duidelijk hoe beheersmaatregelen zoals maaibeheer, bemesting, bestrijdingsmiddelen en bodemverdichting uitwerken op de verborgen biodiversiteit. Zo kunnen beheerders schadelijke routines herkennen en ombuigen naar praktijken die bodemgezondheid, waterkwaliteit en groenstructuren versterken. DNA-analyses helpen hierbij om aan te tonen of een bepaald maairegime de diversiteit van bodemorganismen verlaagt, of dat een alternatieve aanpak juist bijdraagt aan een rijkere ondergrondse leefgemeenschap.

- **Voeden van de stedelijke gezondheids- en klimaatagenda**
  Inzicht in de diversiteit van pollen en micro-organismen in de lucht kan worden gekoppeld aan thema's zoals allergieën, luchtkwaliteit en lichamelijke gezondheid. Zo is het mogelijk om met DNA-metabarcoding van luchtmonsters seizoenspatronen in pollenverspreiding en schimmelsporen in kaart te brengen. Daarmee ontstaat een onderbouwing voor integrale maatregelen die zowel klimaatadaptatie als gezondheid en leefbaarheid ten gunste komen.

- **Versterken van burgerparticipatie en educatie**
  eDNA-projecten lenen zich goed voor citizen science: bewoners kunnen zelf monsters verzamelen, bijvoorbeeld van vijvers, tuinen of boomspiegels, waarna de DNA-analyse centraal wordt uitgevoerd. De DNA-resultaten laten concreet zien welke organismen in de directe leefomgeving voorkomen. Dit vergroot betrokkenheid bij stadsnatuur en maakt de onzichtbare biodiversiteit tastbaar voor bewoners, scholen en wijkinitiatieven.

Arjen Speksnijder, Ken Kraaijeveld en Floyd Wittink, Leiden Centre for Applied Bioscience, Hogeschool Leiden

Gezonde bomen met groene data

Een boost voor de stadsnatuur

Datagedreven werken helpt gemeenten en groenprofessionals in het vroegtijdig signaleren van problemen die de vitaliteit van stadsbomen in de weg staan.

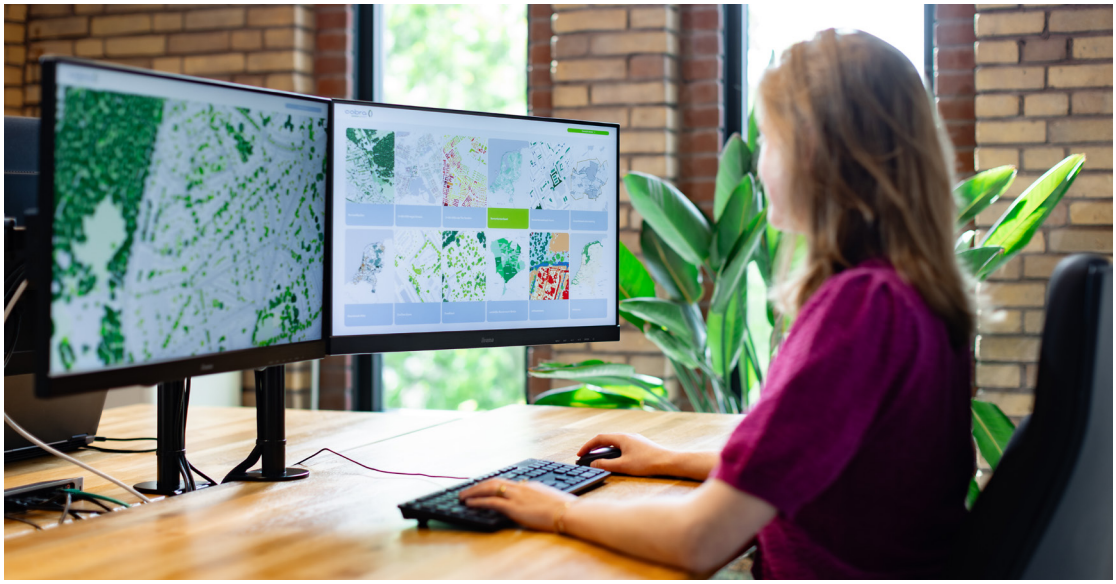
Bomen zijn de stille helden van de stad; ze praten niet, ze klagen niet en ze werken keihard om de stad koel en leefbaar te houden voor mens en dier. Maar het stedelijk groen staat onder druk. Niet alleen door toenemende verharding en beperkte doorwortelbare ruimte hebben bomen steeds meer te verduren, maar ook door klimaatverandering en steeds extremer weer. Een dringende vraag van veel gemeenten en groenprofessionals is dan ook: hoe houden we die bomen vitaal en versterken we de stadsnatuur, terwijl de milieustress verder oploopt?

Omslag naar datagedreven beheer

Het antwoord ligt steeds vaker in groene data. Waar boombeheer vroeger vooral een kwestie was van visueel controleren en ingrijpen op basis van ervaring, ontstaat nu steeds meer een geïntegreerde, datagedreven manier van werken. Deze nieuwe benadering biedt niet alleen beter inzicht in de gezondheid van individuele bomen. Ze laat ook zien hoe volledige groene netwerken functioneren; hoe biodiversiteit zich ontwikkelt en waar de grootste kansen liggen om de natuur in de stad vooruit te helpen. Groene data verbinden de boom met het grotere ecosysteem.

Zicht op patronen via remote sensing

De kracht van groene data is het combineren van meerdere bronnen. Remote sensing vormt daarbij



De BomenMonitor gebruikt onder andere luchtfoto's en satellietbeelden om boomkronen en boomhoogte actueel in beeld te brengen.

Foto: Cobra Groeninzicht



Remote sensing maakt patronen zichtbaar die strategisch én operationeel van grote waarde zijn.

de basis. Met hoogwaardige luchtbeelden, laser-gebaseerde metingen (LiDAR) en thermische data is de vitaliteit van hele boomstructuren in één overzicht te analyseren. Professionele beheerders zien daardoor waar kroonbedekking afneemt, droogtestress optreedt, temperatuurverschillen ontstaan of groene verbindingen in het stedelijk weefsel onderbroken raken. Dit zijn signalen die met het blote oog moeilijk of pas veel later te zien zijn. Remote sensing maakt patronen zichtbaar die strategisch én operationeel van grote waarde zijn: van toekomstig kroonverlies tot risico's in hittestresswijken.

Noodzaak van ecologische veldkennis

Hoewel remote sensing veel prijsgeeft, vraagt een goede interpretatie toch nog altijd om de menselijke blik. Ecologische veldwaarnemingen geven de noodzakelijke duiding. Een kaart die een stresssignaal toont, zegt bijvoorbeeld nog niets over de oorzaak. Hier maakt de professional in het veld het verschil. Korstmossen op een stam kunnen wijzen op een goede luchtkwaliteit. Bepaalde paddenstoelen bieden zicht op een actief en gezond bodemecosysteem. Hoe insecten samenkomen op bloeiende bomen, microhabitats zoals boomholtes of losstaand dood hout, subtiele verschillen in groeiplaatscondities; het zijn allemaal waardevolle aanwijzingen voor het functioneren van zowel boom als ecosysteem. Zulke veldkennis, juist ook van de verborgen stadsnatuur, maakt van data een verhaal.

eDNA maakt onzichtbare natuur zichtbaar

Ook omgevings-DNA (eDNA) genereert een enorme hoeveelheid groene data. Het brengt de



Met de menselijke blik in het veld krijgen boomholtes, sporen en microhabitats betekenis binnen het grotere ecologische verhaal.

Foto: Cobra Groeninzicht

verborgen natuur in beeld – de wereld die je met het blote oog niet ziet, maar die essentieel is voor gezonde stadsbomen en een veerkrachtige bodem. In water- en bodemmonsters vinden we sporen van leven; van schimmels, bacteriën, micro-organismen en kleine bodemdiertjes. Deze onzichtbare biodiversiteit vertelt veel over de kwaliteit van de bodem en de gezondheid van bomen. eDNA is daarmee een waardevol hulpmiddel om oorzaken van problemen op te sporen, zoals terugkerende boomuitval of onverklaarde groeiachterstand. Het opent een venster naar de verborgen stadsnatuur dat normaal gesloten blijft.

Van reageren naar vooruitkijken

Groene data veranderen de manier waarop we bomen en stadsnatuur beheren. Dankzij vroegtijdige signalen – vaak maanden tot jaren voordat schade zichtbaar wordt – kunnen beheerders proactief handelen. Begint een boom droogtestress te vertonen? Dat is het moment om de groeiplaats te verbeteren of waterinfiltratie te versterken. En wijst remote sensing een wijk aan als hittestressgebied? Dan helpt doelgerichte aanplant de omgeving weer leefbaar te maken. Door knelpunten eerder te herkennen, blijven bomen gezonder en weerbaarder. Groene data brengen ook verborgen ecologische waarden aan het licht: kleine stroken groen blijken ineens hotspots voor biodiversiteit. Zo ontstaat met groene data een sterker, koeler en toekomstbestendiger stedelijk ecosysteem, waarvan mens en dier de voordelen direct merken.

Bouwen aan de stadsnatuur van morgen

Toekomstgericht groenbeheer vraagt om goed onderbouwde, slimme keuzes. Groene data maken die stap mogelijk: van reactief naar voorspellend, van losse ingrepen naar integraal beleid. Zo versterken we niet alleen de bomen van vandaag, maar bouwen we actief aan de stadsnatuur van morgen.

Fons van Kuik,
Cobra Groeninzicht

Hittestress meten met (korst)mossen

Effecten van het stadsklimaat op de natuur

Indicatorsoorten en soorteigenschappen van mossen en korstmossen zijn vastgesteld om deze kennis toe te passen op het hitte-eilandeffect in steden.

Korstmossen op bomen worden al lange tijd gebruikt als indicatoren voor luchtkwaliteit en klimaatverandering. Nederland was een van de eerste landen waarin dit op grote schaal werd toegepast. Zo wordt momenteel door de Bryologische en Lichenologische Werkgroep (BLWG) – een organisatie die zich richt op de studie naar mossen en korstmossen – in de meerderheid van de provincies de effecten van stikstofuitstoot gemeten aan de hand van korstmossen. Dat gebeurt door te kijken naar de verschuiving in soortensamenstelling. Sommige soorten profiteren van toegenomen stikstof, terwijl andere soorten juist verdwijnen. Binnen het project Verborgen Stadsnatuur is deze aanpak ook toegepast op het fenomeen 'stedelijk hitte-eilandeffect' (Urban Heat Island effect); het effect van bebouwing en bestrating op de opwarming van steden. Hiervoor is gekeken welke eigenschappen van mossen en korstmossen ervoor zorgen dat ze in de stad kunnen overleven, en welke soorten kenmerkend zijn voor koele of juist warme delen in de stad.

Aanpassingen aan het stedelijk klimaat

Vergeleken met het omliggende platteland is het stedelijk gebied warmer en de windsnelheid is er lager. De grondwaterstand is dieper en groen en gebouwen zorgen voor variatie in schaduw. Mossen en korstmossen zijn op verschillende manieren aangepast aan dit stedelijke klimaat. Bij mossen zien we dat op droge, warme plekken soorten domineren die in polletjes groeien en glasharen hebben. Deze groeivorm zorgt voor bescherming bij droogte, doordat de mosplanten inkrullen. De doorzichtige glasharen aan de bladtoppen weerkaatsen zonlicht, maar zorgen ook voor een snel transport van regenwater naar het blad. Bij korstmossen zien we relatief dikke soorten, waarbij



Knikkersterretje (*Syntrichia papillosa*) kan goed gedijen in stadscentra; het is een indicator voor een hoge mate aan hittestress.

Foto: Tim Claerhout



Deelnemers aan het citizen science-project op het Marineterrein in Amsterdam.

Foto: Laurens Sparrius

lichte kleuren domineren. Sommige soorten, zoals rijpmos, hebben een reflecterende laag van kristallen die zonlicht buiten de deur houdt.

Indicatorsoorten

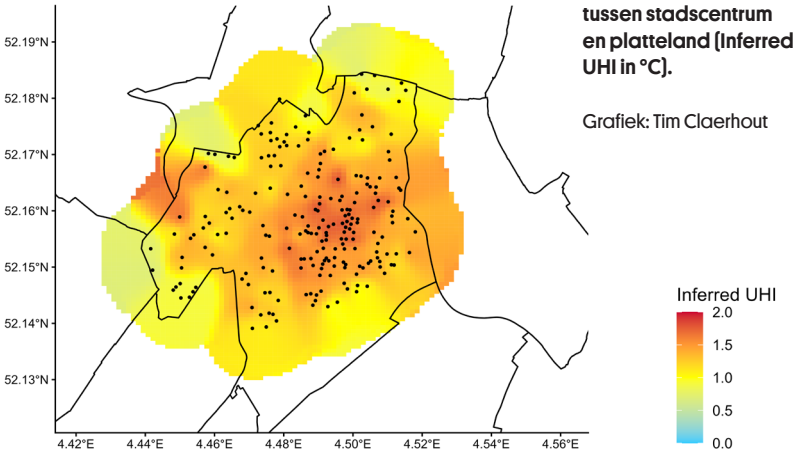
Het project Verborgen Stadsnatuur heeft een set indicatorsoorten opgeleverd van mossen en korstmossen die verdeeld over de stad op bomen leven. Op de meest warme en droge plekken domineren mossen met glasharen, vooral Knikkersterretje (*Syntrichia papillosa*), en het korstmos Rond schaduwmos (*Phaeophyscia orbicularis*). In delen met minder dichte bebouwing is de korstmosbegroeiing op bomen het meest uitbundig, met schildmossen en struikvormige soorten zoals Eikenmos (*Evernia prunastri*). Aan de randen van de stad is de korstmosbegroeiing iets minder soortenrijk. Hier zie je korstvormige soorten, zoals Witte schotelkorst (*Lecanora chlarotera*) en Amoebekorst (*Arthonia radiata*). De soortenrijkdom van mossen en korstmossen is het hoogst bij oude bomenlanen en in de groene buitenwijken.

Citizen science

Met deze kennis kunnen de indicatorsoorten worden gebruikt om op bepaalde plekken de mate van hittestress te bepalen. In Verborgen Stadsnatuur is dit gedaan door middel van een citizen science-project. Bij citizen science of burgerwetenschap wordt aan grote groepen vrijwilligers – mensen met heel verschillende achtergronden – gevraagd om zelfstandig onderzoek uit te voeren. Voorafgaand aan ons onderzoek naar hittestress, is een gebruiksvriendelijke zoekkaart gemaakt, waarop de korstmossen in vijf overzichtelijke groepen zijn verdeeld van soorten die sterk op elkaar lijken. Dit maakte het onderzoek veel gemakkelijker dan tientallen soorten korstmossen op naam te moeten brengen, wat specialistenwerk is. Ook de schatting van de hoeveelheid korstmossen werd vereenvoudigd door relatieve aantallen te gebruiken (geen/weinig/veel). Elke meetlocatie bestond uit een rij van vijf vrijstaande laanbomen met een minimale diameter van 30 centimeter. Bijna 400 deelnemers hebben het onderzoek uitgevoerd op ruim 2.500 locaties in Nederland. Met de verzamelde data kon aan de hand van een modelberekening de mate van hittestress worden bepaald. Op de projectwebsite is in vijf categorieën de hoeveelheid hittestress op alle gemeten locaties weergegeven. Door de resultaten te vergelijken met een bestaande hittekaart bleek het goed mogelijk om korstmossen als indicatorsoorten te gebruiken, mits het onderzoek correct wordt uitgevoerd.

Tim Claerhout,
Hortus botanicus Leiden

Laurens Sparrius,
Bryologische en Lichenologische Werkgroep (BLWG)



Gemodelleerde hittekaart van Leiden op basis van burgerwetenschapsdata. Hoe roder, hoe hoger het gemiddelde temperatuurverschil tussen stadscentrum en platteland (Inferred UHI in °C).

Grafiek: Tim Claerhout

Tips

Groener beleid en beheer door data





Niet alles wat waardevol is, is direct zichtbaar. Monitoring helpt verborgen ecologische processen bestuurlijk zichtbaar te maken en beheer adaptief bij te sturen. Moderne DNA-technieken, remote sensing en citizen science data maken het meten en monitoren van verborgen stadsnatuur mogelijk. Wat houdt dat in?

- **Koppel DNA-monitoring aan lopende projecten en subsidies**
  Bouw DNA-monitoring in bij projecten die toch al lopen: herinrichting van een plein, aanleg van een wijkpark, klimaatadaptatie-project of bomenvervangingsprogramma. Gebruik bestaande kaders (Europese en nationale biodiversiteits- en klimaatdoelen) om financiering te zoeken voor het combineren van traditioneel ecologisch onderzoek met DNA-technieken, zodat je tegelijk ervaring opdoet en direct beleidsrelevante data verzamelt.

- **Betrek burgers en collega's via citizen science en trainingen**
  Sluit aan bij citizen science-initiatieven rond eDNA of start een lokaal traject waarin bewoners, scholen of wijkinitiatieven zelf monsters verzamelen (bodem, water, lucht), terwijl professionals en wetenschappers de analyses en duiding verzorgen. Combineer dit met interne trainingen of kennissessies voor collega's (beleidsafdelingen, groenbeheer, GGD, woningcorporaties), zodat de organisatie leert hoe DNA-data te lezen en mee te nemen in besluitvorming.

- **Werk integraal, combineer databronnen**
  Combineer remote sensing, ecologische veldkennis en eDNA-analyses om de bovengrondse én ondergrondse staat van bomen en bodem volledig in beeld te krijgen. Zo ontstaat een betrouwbaar totaalbeeld en komen problemen eerder en nauwkeuriger aan het licht.

- **Schakel over van reactief naar voorspellend beheer**
  Gebruik groene data om condities als droogtestress, groeiachterstand of verstoorde bodemecologie al vroeg te signaleren. Optimaliseer beheer en voorkom uitval door al jaren vóór zichtbare schade in te grijpen.

- **Gebruik meetbare data om draagvlak te creëren**
  Maak effecten van vergroening zichtbaar met objectieve data. Onderbouw investeringen in stadsnatuur binnen de Omgevingswet met dashboards, metingen en tijdreeksen. Zo verloopt besluitvorming sneller en overtuigender.

- **Bouw stap voor stap aan een robuust en toekomstbestendig ecologisch netwerk**
  Hanteer een datagedreven aanpak om prioritaire gebieden te identificeren, kansen voor biodiversiteit te benutten en groenstructuren te versterken. Dit maakt steden beter bestand tegen hitte, droogte, piekbuien en biodiversiteitsverlies.

- **Draag bij aan onderzoek om hitte in de stad te meten** met (korst)mossen op bomen en bekijk de resultaten op de kaart. Kijk hier voor instructies.

Scan de barcode voor instructies.



Kom in actie voor de stadsnatuur

Bewoners ontdekken de verborgen stadsnatuur op een ontdekmarkt in Leiden.

Foto: Michael Stech

Groene oases in een grijze stad

Hoe stadsbewoners de verborgen biodiversiteit in hun eigen buitenruimte kunnen versterken

Stadsbewoners zijn meer bereid om actie te ondernemen als zij een bepaald gedrag persoonlijk relevant vinden en vertrouwen hebben in hun eigen kunnen.

Van de oorspronkelijke biodiversiteit in Nederland is in de afgelopen eeuw maar liefst 85 procent verloren gegaan. Menselijk gedrag heeft geleid tot die achteruitgang, maar kan ook bijdragen aan herstel. Dat is belangrijk, want biodiversiteit is geen luxe maar een voorwaarde voor een gezonde leefomgeving.

Aanknopingspunten voor biodiversiteitsherstel

Voor biodiversiteitsherstel biedt de stad meer aanknopingspunten dan vaak wordt gedacht. Veel inheemse insecten leggen maar kleine afstanden af en zijn afhankelijk van een fijnmazig netwerk van groen in hun directe omgeving. Een geïsoleerde groene plek helpt, maar een aaneengesloten netwerk van inheemse beplanting is effectiever. Tuinen en balkons spelen daarin een cruciale rol: samen beslaan ze een oppervlakte van maar liefst tien keer het Nationaal Park De Hoge Veluwe. Tegelijkertijd is de verstening in dit stedelijk groen de afgelopen jaren juist toegenomen. Gedragsonderzoek kan laten zien waar de kansen liggen om het tij te keren en bestaande initiatieven de helpende hand te reiken.

Van betrokkenheid naar handelen

Binnen het project Verborgen Stadsnatuur is door middel van een enquête onderzocht wat stadsbewoners weten en vinden van biodiversiteit, wat zij al doen en waartoe zij bereid zijn. Van de 1.134 mensen die de vragenlijst hebben ingevuld vindt een ruime meerderheid (81 procent) het belangrijk dat er in hun omgeving veel verschillende soorten planten en insecten leven. 61 Procent maakt zich zorgen over het verlies van deze biodiversiteit. Toch vertaalt die betrokkenheid zich niet vanzelf in handelen.

Beseffen wat je kunt doen

Een deel van de verklaring is dat stadsbewoners niet beseffen hoeveel mogelijkheden zij hebben: bijna een kwart heeft geen idee wat zij concreet kunnen bijdragen. Wie wél iets noemt, denkt vooral aan actief iets groens aanplanten, waarbij gifvrije en inheemse planten zelden spontaan worden genoemd. Minder doen (ruimte laten, minder schoonmaken, de bodem met rust laten) komt bij bewoners ook nog weinig in de gedachten op, terwijl ecologen juist benadrukken hoe waardevol dit is.

Onderliggende oorzaak

Maar er speelt ook iets diepers. Veel bewoners vinden het zinvol dat iemand verwildering toelaat of biologische planten kiest, maar ervaren dat zelf nog niet als iets wat hen persoonlijk aangaat. Deze mensen zijn consequent meer bereid om actie te ondernemen als zij een bepaalde gedraging persoonlijk relevant vinden en vertrouwen hebben in hun eigen kunnen. Dit inzicht loopt als een rode draad door alle bevindingen van dit onderzoek heen, al speelt bij elke gedraging iets anders een rol.



Illustratie:
Martine Hermsen

Biologische planten

Van alle nader onderzochte vormen van gedrag, is de bereidheid om biologische planten te gebruiken het grootst. Als hiervoor een barrière bestaat, zit dit niet in de weerstand: mensen hebben er niets op tegen. Ze staan er bij het kopen van planten voor hun tuin of balkon simpelweg niet bij stil. Bewoners die dat wél doen, kiezen er vooral voor om gif te vermijden. Betere herkenbaarheid in tuincentra en meer bewustzijn over het gebruik van pesticiden in gangbare planten kunnen 'biologisch' vaker de vanzelfsprekende keuze maken.

Drie op de vier deelnemers aan het onderzoek vindt een verwilderde tuin er onverzorgd uitzien.

Verwilderen

Drie op de vier deelnemers aan het onderzoek vindt een verwilderde tuin er onverzorgd uitzien, en dat verhoogt de drempel om zelf zo'n tuin te willen hebben. De sociale norm versterkt dit gevoel: de helft van de mensen denkt dat hun buren verwildering vervelend zouden vinden. Toch hoeft verwildering geen gebrek aan zorg te betekenen, maar kan het juist een bewuste keuze zijn waarmee je stadsnatuur de ruimte geeft. Die intentie zichtbaar maken helpt hierbij. Een pad, stapstenen of een duidelijke rand laten zien dat verwildering welkom is en de tuin nog steeds beheerd wordt.

Ontharden

Bijna één op de zes stadsbewoners zou ontharden overwegen. Hoewel 86 procent van de ondervraagden weet wat het nut is van minder bestrating in de tuin en 87 procent weet hoe ze dat moeten doen, missen bewoners vooral een concreet beeld van hoe een tuin met minder verharding er toch aantrekkelijk kan uitzien en ze de tuin kunnen gebruiken voor wat ze willen. Voorbeelden van tuinen die uitnodigen om in te zitten, koel zijn en goed afgewaterd, gecombineerd met praktische ondersteuning zoals het ophalen van tegels, verlagen die drempel. Volledig ontharden hoeft niet het doel te zijn: elke tegel minder telt.

Wijkvergroening

Wijkvergroening als gezamenlijke buurtactiviteit komt in de praktijk weinig voor: 82 procent van de deelnemers aan het onderzoek besteedt er nooit tijd aan. Bewoners zien wijkvergroening eerder als taak van de gemeente dan als iets waar zij zelf een rol in spelen. Die bereidheid neemt toe bij mensen die verwachten voldoening uit deze activiteit te halen en die vergroening belangrijk vinden voor de eigen buurt. De drempel verlagen begint bij kleine, concrete vormen van deelname: ook een middag meehelpen telt. Wanneer wijkvergroening ook mensen verbindt – samen buiten zijn maakt het gezellig – neemt deze deelname verder toe.

Van groene oase naar groen netwerk

De kloof tussen iets in het algemeen zinvol vinden en het ook persoonlijk aanpakken, is de meest fundamentele drempel die dit onderzoek blootlegt. Wie bewoners in beweging wil brengen, moet die brug slaan: laten zien dat de eigen tuin, het eigen balkon of dakterras geen geïsoleerde plek is maar onderdeel van een groter netwerk waarvan de (verborgen) stadsnatuur afhankelijk is. Kleine stappen tellen op, en dat netwerk werkt alleen als genoeg mensen meedoen. Organisaties en overheden spelen daarin een belangrijke rol door biodiversiteitsvriendelijke keuzes toegankelijker te maken en vergroening te verankeren in beleid en inrichting. Pas wanneer bewoners, organisaties en overheden samen optrekken, wordt een groene, biodiverse leefomgeving de standaard.

Loes Kreemers en Carlijn Kappers,
Hogeschool van Amsterdam

Groen als sociaal bindmiddel

Het succes van vergroening in samenhang met community building

Stichting Steenbreek heeft een concept ontwikkeld dat bewoners zelf in staat stelt om hun leefomgeving te veranderen. Samenwerken met gemeenten is onderdeel van het succes.

Groene tuinen leveren een bijdrage aan een gezondere leefomgeving en bevorderen de biodiversiteit, inclusief de verborgen stadsnatuur. Binnen dit speelveld staat Stichting Steenbreek vooral bekend om het stimuleren van vergroening. Minstens zo belangrijk is de rol van community builder, want zonder sociale samenhang geen blijvende vergroening. Door bewoners, organisaties en lokale overheden met elkaar te verbinden rond één gezamenlijke missie – het verminderen van verharding en het stimuleren van groen in de leefomgeving – ontstaat de basis voor structurele verandering.

Foto: Beeldbank van de Leefomgeving



Vier kernthema's

Vijf gemeenten trapten in 2015 gezamenlijk af met Stichting Steenbreek: Groningen, Leeuwarden, Den Haag, Amersfoort en Eindhoven. Inmiddels zijn meer dan tweehonderd gemeenten, provincies, waterschappen en andere organisaties bij het succesvolle concept aangesloten. In de beginjaren lag de focus vooral op het stoppen van de toen heersende trend van verstening in de publieke en private ruimte. Dit gebeurde door bewoners en gemeenten ervan bewust te maken dat vergroening van tuinen essentieel is voor waterafvoer, verkoeling en ecologisch herstel. En ook door mensen die wilden vergroenen te ondersteunen. Tegenwoordig zijn de missie en doelstelling veel ruimer. De activiteiten richten zich op vier kernthema's: biodiversiteit, klimaatadaptatie, sociale cohesie en gezondheid. Leidend principe in alle activiteiten is daar te vergroenen waar de noodzaak het grootst is.

Bottom-up

Steenbreek moedigt inwoners, gemeenten, bedrijven en maatschappelijke organisaties aan om tegels te vervangen door planten, bomen en andere groene oplossingen. Door het jaar heen is Steenbreek betrokken bij de voorbereiding en uitvoering van vergroeningsacties die door de stichting zelf zijn opgezet. Daarnaast is de stichting betrokken bij initiatieven die met steun en begeleiding van Steenbreek-adviseurs door gemeenten, woningcorporaties en andere organisaties op touw worden gezet. Bewonersparticipatie is daarbij een belangrijk thema. Een van de



krachtigste aspecten van het werk van Steenbreek is dat het bewoners zelf in staat stelt om hun leefomgeving te veranderen. In plaats van top-down stedelijke projecten stimuleert de stichting bottom-up initiatieven.

Een van de krachtigste aspecten van het werk van Steenbreek is dat het bewoners zelf in staat stelt om hun leefomgeving te veranderen.

Samenwerken met gemeenten

De samenwerking met gemeenten is een belangrijk onderdeel van het succes van Steenbreek. Gemeenten fungeren als katalysator: zij organiseren acties, ondersteunen bewonersinitiatieven en zorgen voor logistieke hulp, zoals het ophalen van verwijderde tegels of het beschikbaar stellen van plantmateriaal. Een straat die meedoet aan een tegelwipactie of een buurtvergroeningsdag krijgt vaak ondersteuning in de vorm van advies, gereedschap of subsidies. Deze gemeentelijke betrokkenheid maakt het makkelijker en aantrekkelijker voor bewoners om samen aan de slag te gaan. En ook woningcorporaties zijn in de afgelopen jaren steeds belangrijker geworden in het aanmoedigen van mensen om hun tuin te vergroenen.

Sociaal bindmiddel en gedeeld eigenaarschap

Vergroenen draait zelden om stenen en planten alleen; het gaat ook om mensen. Groen werkt als een sociaal bindmiddel. Planten en tuinen vormen een laagdrempelige aanleiding voor gesprek. Een buur die een plant water geeft of een boom verzorgt, is zichtbaar bezig met de omgeving. Dat nodigt uit tot contact en betrokkenheid. Steenbreek benut dit effect bewust. Door bewoners

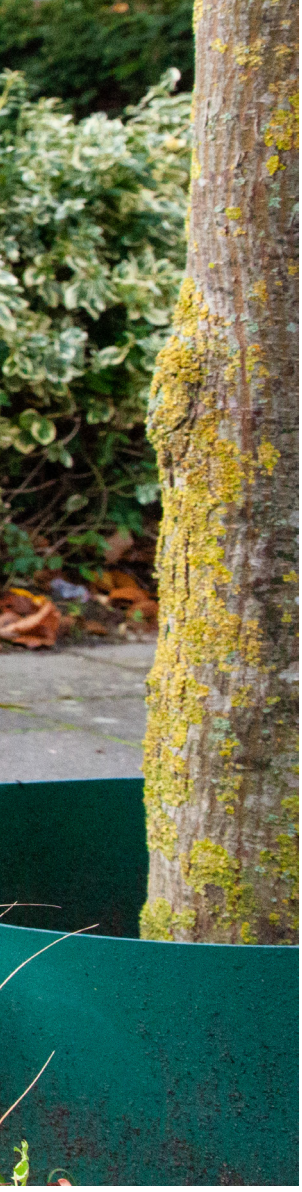


Foto: Beeldbank van de Leefomgeving

te stimuleren om samen te vergroenen, ontstaat een natuurlijke reden om elkaar te ontmoeten. Activiteiten zoals tegelwipacties, plantdagen en buurtworkshops brengen mensen samen die elkaar anders misschien nooit zouden spreken. Deze ontmoetingen kunnen leiden tot langdurige relaties. Een eenmalige actie kan uitgroeien tot een buurtgroep die samen tuinen onderhoudt, activiteiten organiseert of nieuwe initiatieven opzet. Het resultaat is dat vergroening een collectieve activiteit wordt. Juist dat collectieve element draagt bij aan community building. Wanneer een groep bewoners besluit om een versteend plein te vergroenen of een gezamenlijke geveltuin aan te leggen, ontstaat een gevoel van gedeeld eigenaarschap. Dit gevoel vergroot de betrokkenheid bij de buurt, stimuleert onderlinge hulp en kan zelfs bijdragen aan een gevoel van veiligheid. Mensen kennen elkaar beter en voelen zich verantwoordelijk voor de ruimte die ze samen hebben ingericht.

Steenbreek Richtlijn

Voor het inrichten van een tuin heeft Steenbreek een richtlijn ontwikkeld die de basis vormt van alles waar de stichting voor staat. De Steenbreek Richtlijn houdt rekening met het dagelijks gebruik van de tuin, zonder de groene essentie te verwaarlozen. Verharding is in bijna elke tuin noodzakelijk voor praktische functies, zoals een terras, loopruimte en een plek voor een afvalcontainer. Een verhard oppervlak van zo'n 15 vierkante meter is hiervoor voldoende. Voor elke vierkante meter die boven deze meetlat uitkomt, adviseert Steenbreek om een verhouding van 80 procent groen / 20 procent verharding aan te houden. De stichting heeft deze richtlijn 'op papier' toegepast op alle tuinen in Nederland en heeft daarmee inzicht in waar de grote kansen liggen om te vergroenen.

Laagdrempelig

Een van de redenen waarom Steenbreek zo succesvol is in community building, is dat de drempel om mee te doen relatief laag is. Het verwijderen van een paar tegels of het aanleggen van een geveltuin is een kleine, toegankelijke stap die in de praktijk vaak het begin vormt van iets groters: niet alleen van grotere initiatieven, zoals gezamenlijke buurtmoestuinen of groene ontmoetingsplekken, maar ook van een buurt waarin mensen gezamenlijk verantwoordelijkheid nemen voor hun leefomgeving.

Adviseurs helpen de gemeente

De Steenbreek-adviseurs inventariseren per gemeente welke netwerken en initiatieven al aanwezig zijn en helpen vanuit de bestaande structuren om verbinding te leggen, activiteiten te bundelen en nieuwe acties op te zetten. De kracht zit daarbij niet alleen in het opstarten, maar juist in het versterken van samenhang en continuïteit binnen die lokale netwerken. Belangrijk is dat het niet blijft bij een eenmalige actie. Er wordt nadrukkelijk aandacht besteed aan het beheer en onderhoud van het groen door het jaar heen. Juist dat terugkerende karakter zorgt ervoor dat mensen elkaar blijven ontmoeten. Zo groeit niet alleen het groen, maar ook de sociale samenhang in de buurt. Op die manier is vergroening meer dan een functionele ingreep voor biodiversiteit of klimaatadaptatie. Het wordt een sociale aangelegenheid die bijdraagt aan verbondenheid en eigenaarschap. De 'Steenbrekers' spelen hierin een sleutelrol; zij zijn bij uitstek de mensen die deze beweging op gang brengen en gaande houden.

Stichting Steenbreek

Vrienden van de Leidse Hortus

Actief betrokken bij burger-wetenschapsonderzoek in Leiden



Waterdieren inventariseren aan de oever van de Hortus botanicus Leiden door Hortusvriendin Chantal Spruit en David Edwards onder leiding van Grachtwacht Liselotte Rambonnet.

Foto: Adri Mulder

De Leidse Hortusvrienden ondersteunen citizen science projecten over verborgen stadsnatuur en brengen de resultaten breed naar buiten.

Stichting Vrienden van de Leidse Hortus had een actieve rol in het project Verborgen Stadsnatuur en heeft hier financieel aan bijgedragen. Binnen het project is veel ruimte voor citizen science of 'burgerwetenschap', een aspect dat goed past bij de stichting. Vrienden van de Leidse Hortus is een steunorganisatie voor de botanische tuin in Leiden. Het wetenschappelijk programma in de Hortus wordt in principe betaald door de Leidse universiteit, waar de Hortus onderdeel van is. Maar wanneer in een wetenschappelijk project een beroep wordt gedaan op citizen science, kan de stichting financieel bijdragen omdat er in dat geval sprake is van de betrokkenheid van het publiek. Ook uit de circa 2.000 vrienden en adoptanten – veelal burgers uit Leiden en omgeving – kan worden geput voor het doen van waarnemingen in citizen science-activiteiten. Deze vrienden en adoptanten steunen de botanische tuin en dragen financieel bij aan projecten met een publieksfunctie. De stichting stelt zich ten doel de publieke betrokkenheid bij de Hortus en zijn historische, botanische, museale en culturele betekenis te vergroten. Ook wil de Hortus meer mensen bereiken met het wetenschappelijk onderzoek dat hier wordt verricht. Door de kennis en de botanische collectie breder onder de aandacht te brengen, groeit het publieke bewustzijn van dit onderzoek.

Bomen als habitat

Voor Verborgen Stadsnatuur werd bioloog Tim Claerhout aangesteld als promovendus in de Hortus. Tim heeft bomen als bovengrondse habitat onderzocht door te bepalen welke diversiteit aan mossen en korstmossen erop groeien. Uitgangspunt hierbij was te kijken hoe deze begroeiing omgaat met hittestress in de stad, waar het altijd warmer is dan daarbuiten. Met behulp van een handleiding voor het in kaart brengen van verschillende soorten mossen en korstmossen op bomen zijn bij dit onderzoek burgerwetenschappers betrokken (zie 'Hittestress meten met (korst) mossen').

Stoepplantjes scoren

Een andere, vergelijkbare studie die door de Vrienden van de Leidse Hortus is gesteund, is het onderzoek van bioloog Nienke Beets naar stoepplantjes. Ook hier hebben burgers veel aan bijgedragen. Het is gelukt veel gezinnen (en kinderen) duidelijk te maken dat de natuur al meteen voor je voordeur te vinden is. De resultaten laten zien dat citizen science niet alleen een krachtig middel is voor het genereren van wetenschappelijke output, maar zeker ook om het publiek bij wetenschap te betrekken en vervolgens de resultaten breder bekend te maken.

Singelparkproject

Een derde voorbeeld is het Singelparkproject van de Taxon Foundation. Deze Leidse organisatie voert samen met buurtgroeperingen, scholen en burgerwetenschappers onderzoeksprojecten uit met speciale aandacht voor insecten en andere kleine diertjes. Een onderzoek naar de biodiversiteit in diverse delen in het Leidse Singelpark was zo'n project. Stichting Vrienden van de Leidse Hortus ondersteunde het Singelparkproject financieel, omdat hierin ook de Leidse Hortus een rol speelde. In september 2023 onderzochten Hortusvrienden onder leiding van Taxon-experts kevers, spinnen, miljoenpoten, waterbeestjes en ander klein leven in de Hortus.

De stad als ecosysteem

De genoemde voorbeelden hebben meer met elkaar gemeen dan het betrekken van burgers bij wetenschappelijk onderzoek. Ze richten zich ook allemaal op verborgen en spontane stadsnatuur. De grotere planten die in de Hortus en op andere plekken in de stad zijn aangeplant, maar ook stoepen en gebouwen, bieden leefruimte voor een groot aantal kleine organismen die zich daar spontaan vestigen. Door het steunen van onderzoek naar de verborgen stadsnatuur, draagt de Stichting Vrienden van de Hortus bij aan bewustwording van de stad als ecosysteem. Naast de diversiteit en schoonheid van alles wat in de Hortus is te zien, leren bezoekers daardoor ook kleinere organismen kennen, inclusief het wetenschappelijk onderzoek dat zich hiermee bezighoudt. Zo is in 2026 een



Hortusvriend Koen van Zoest en Taxon-expert Jan Wieringa identificeren insecten in de Hortus botanicus Leiden tijdens het Singelparkproject van de Taxon Foundation.

Foto: Adri Mulder

speciale plattegrond gemaakt waarmee bezoekers een aantal korstmossen in de Hortus kunnen ontdekken.

Onderzoek naar buiten brengen

De citizen science-projecten over verborgen stadsnatuur waarbij de Leidse Hortus was betrokken, kwamen ruim aan bod tijdens lezingen die de stichting jaarlijks organiseert om mensen bekend te maken met wetenschappelijk onderzoek. Daarnaast werden lezingen gegeven over uiteenlopende onderwerpen zoals het beschermen van inheemse soorten, de ontstaansgeschiedenis van botanische tuinen, of 'landschapslogica': het ontwerpen van stedelijke woongebieden in samenhang met de daar van oudsher aanwezige natuur, mensen en geschiedenis. Medewerkers van de Leidse Hortus vertellen over hun onderzoek en activiteiten, onder meer door het publiceren van artikelen in het jaarlijkse magazine Hortus Leiden. Dit kleurrijk geïllustreerde blad wordt in samenwerking tussen de Hortus en Vrienden van de Leidse Hortus geproduceerd en toegestuurd naar Hortusvrienden en relaties van de Hortus. In de editie van 2023 verschenen twee artikelen over het Verborgen Stadsnatuur project. Daarnaast zijn begin 2025 de Vrienden geïnformeerd over de 'bioblitz' Expeditie Stadsnatuur in Leiden; een inventarisatie van planten, dieren en schimmels in de stad, waarbij ook speciaal aandacht werd geschonken aan de verborgen stadsnatuur. Ook buiten Leiden bereikt de stichting veel mensen: via de Nederlandse Vereniging van Botanische Tuinen hebben de Vriendenverenigingen onderling contact. Zo kunnen zij elkaar inspireren en van elkaar leren, op het gebied van organisatie, maar zeker ook hoe natuur en biodiversiteit kunnen worden bevorderd en onder de aandacht worden gebracht.

Door het steunen van onderzoek naar de verborgen stadsnatuur, draagt de Stichting Vrienden van de Hortus bij aan bewustwording van de stad als ecosysteem.

Adri Mulder en John van Ruiten,
Vrienden van de Leidse Hortus

Natuurlab

Leerlingen onderzoeken de verborgen stadsnatuur

De online lesmodule Verborgen Stadsnatuur daagt leerlingen van vmbo, havo en vwo uit om beter te kijken, meer te ontdekken, in actie te komen en meer.

Actueel wetenschappelijk onderzoek vormt een inspirerende leercontext voor het voortgezet onderwijs. De online lesmodule Verborgen Stadsnatuur integreert het werk van het onderzoeksproject direct in de lespraktijk. In vier lessen ontdekken leerlingen van leerjaar 2 en 3 vmbo/havo/vwo de verborgen biodiversiteit in hun eigen omgeving.

Onderzoekend leren

In de lesmodule, onderdeel van Natuurlab – de digitale leeromgeving van Naturalis voor het voortgezet onderwijs – staat actief leren centraal. Wetenschappers van Verborgen Stadsnatuur introduceren uitdagende opdrachten, waarna leerlingen met interactieve tools zelf data verzamelen en conclusies trekken. Deze methodiek stimuleert een onderzoekende houding, vergroot het zelfvertrouwen en verbetert de verankering van kennis in het langetermijngeheugen. Terwijl de leerling de regie voert, faciliteert de docent het proces als coach. Dit versterkt niet alleen de biologische expertise, maar ook het sociaal kapitaal binnen de klas.

Binnen en buiten

De module hanteert een blended learning-aanpak: een afwisseling van digitale verwerking, peer review (onderlinge toetsing) en klassikale discussie met empirisch veldonderzoek, bijvoorbeeld door het doen van eigen waarnemingen.



Als citizen scientists verzamelen leerlingen met een speciale 'turftool' kwantitatieve data over organismen in hun directe omgeving, zoals korstmossen. Terug in de klas analyseren zij de resultaten met een interactieve kaarttool. Door hun eigen bevindingen te combineren met gegevens van Waarneming.nl en andere scholen, ontdekken leerlingen patronen in de natuur van de stad.
Op die manier leren ze niet alleen over natuur, maar oefenen ze ook met het werken met data en het kritisch nadenken over wat ze zien.

Aansluiting op het schoolcurriculum

De lesmodule Verborgen Stadsnatuur is vraaggestuurd ontwikkeld in nauwe samenwerking met docenten en leerlingen. De inhoud is afgestemd op de SLO-kerndoelen voor de onder- en middenbouw, met een focus op taxonomie, soortenkennis en ecologische interacties. Juist in deze leerfase ontdekken leerlingen hun passies en talenten, wat medebepalend is voor hun profielkeuze en verdere studieloopbaan.

Flexibele implementatie

Dankzij de modulaire opzet zijn de lessen eenvoudig in te passen in de beschikbare onderwijstijd. Docenten kunnen kiezen voor het volledige programma, een losse les of een specifieke verdiepingsopdracht bij de reguliere methode.

De wereld als leeromgeving

De module Verborgen Stadsnatuur laat duidelijk ervaren dat actueel wetenschappelijk onderzoek een essentiële aanvulling is op de lesstof die leerlingen op school tot zich nemen. Terwijl binnen de schoolmuren het ontwikkelen van begrip soms tegen grenzen aanloopt, kunnen juist buiten die context diepere inzichten ontstaan. Door zelf de regie te pakken in het onderzoeken van hun eigen leefomgeving, ontdekken leerlingen de fascinerende wereld van de natuur waar zij zelf onderdeel van zijn. Deze verbinding stimuleert niet alleen wetenschappelijke geletterdheid, maar ook meer waardering en zorg voor de natuur.

Hansjorg Ahrens,
Naturalis Biodiversity Center

Tips

Samen aan de slag voor stadsnatuur

Het project Verborgen Stadsnatuur heeft een enorme rijkdom aan inspiratie opgeleverd om impact te maken voor een biodiverse, leefbare stad. Wacht niet af, maar kom meteen in actie om hier je voordeel mee te doen, en help anderen om mee te werken!

Help mensen stap voor stap in het vergroenen van hun leefomgeving

- Maak concreet zichtbaar wat een kleine stap in het vergroenen van de leefomgeving oplevert, voor planten, dieren én de bewoner zelf. Dit vergroot de kans op actie.
- Maak biologische planten de vanzelfsprekende keuze op het moment dat bewoners hun buitenruimte inrichten, via het aanbod, duidelijke herkenbaarheid en communicatie over het verschil met gangbare, met pesticiden behandelde planten.
- Niet alles hoeft ontworpen te zijn; soms is juist het begeleiden van natuurlijke processen waardevol.
- Kantel de sociale norm rond verwildering en laat zien hoe wildheid, afgebakend door een pad of rand, er verzorgd en aantrekkelijk uitziet.
- Maak ontharden concreet en haalbaar via voorbeelden van functionele tuinen met minder verharding en bied hierbij praktische ondersteuning.
- Verlaag de drempel voor wijkvergroening door deelname behapbaar te houden en te koppelen aan sociale activiteiten en aan wat leeft in de buurt.



Zo wordt vergroenen een sociaal bindmiddel

- Begin klein, maar organiseer doorontwikkeling – zorg dat een eerste actie altijd een vervolg krijgt (bijvoorbeeld een tweede moment of een vaste groep), zodat energie niet weglekt.
- Investeer structureel in beheer en eigenaarschap – leg niet alleen een tuin aan, maar denk vooraf al na en hoe je bewoners daarin ondersteunt.
- Werk via bestaande netwerken en sleutelfiguren – sluit aan bij wat er al is in een wijk en versterk dat, in plaats van iets nieuws naast bestaande initiatieven te zetten.
- Maak de maatschappelijke meerwaarde expliciet – koppel vergroening altijd aan thema's zoals gezondheid, sociale cohesie en klimaatadaptatie, omdat dit helpt bij draagvlak en financiering.
- Faciliteer, maar laat bewoners leidend zijn – gemeenten en organisaties moeten ondersteunen (middelen, kennis, logistiek), zonder het over te nemen.
- Zorg voor zichtbaarheid en vier successen – laat zien wat er gebeurt in een buurt, dat werkt aanstekelijk en trekt nieuwe deelnemers aan.

Werk je in het onderwijs?

Ontdek dan hier zelf hoe Verborgen Stadsnatuur heeft geleid tot een prikkelende module voor leerlingen vmbo/havo/vwo. Ga ermee aan de slag en daag hen uit om meer te ontdekken over de natuur waar zij zelf onderdeel van zijn.

Meer weten?

Raadpleeg voor een klein aantal effectieve handvatten De Groene Loper.

Raadpleeg voor een lijst van maatregelen die (niet alleen) in historische binnensteden kunnen worden toegepast deze toolbox.

Bronnen / referenties

Inleiding

Guilland, C., Maron, P.A., Damas, O., Ranjard, L. 2018. Biodiversity of urban soils for sustainable cities. Environmental Chemistry Letters 16: 1267–1282.

Naturalis Biodiversity Center 2026. Statusrapport Nederlandse biodiversiteit 2026 (148 pp.). Leiden, Nederland. DOI: 10.5281/zenodo.20004712

Natuur in de stad - Niels de Zwarte en Kees Vink

Duvigneaud, P. 1974. L'écosystème urbs. Études écologiques de l'écosystème urbain Bruxellois: contribution n. 1. Mémoires de la Société royale de Botanique de Belgique 6: 5–35.

Lahr, J., Lammertsma, D., Bijlsma, R.J., Weeda, E.J., Buij, R., Snep, R.P.H. 2014. Nederlandse biodiversiteit. Hoe belangrijk is het stedelijk gebied? Landschap: tijdschrift voor landschapsecologie en milieukunde 31(4): 195–203.

Sukopp, H. (Hrsg.) 1990. Stadtökologie. Das Beispiel Berlin. Dietrich Reimer Verlag, Berlin.

Zonderwijk, P. 1979. De bonte berm : de rijke flora en fauna langs onze wegen. Uitgeverij Zomer en Keuning, Ede.

Eilandtheorie in de stad - Wouter Moerland en Veronique Loeffen

Claerhout, T., Sparrius, L., Keßler, P.J.A., Stech, M. 2026. Urban heat islands shape epiphytic communities of lichens and bryophytes. Urban Ecosystems 29, 63. https://doi.org/10.1007/s11252-026-01930-8

Does, A. 2025. The effects of urbanization at different spatial scales on lichen and bryophyte diversity. MSc student internship report, Leiden University.

Mawarda, P.C., van der Kaaij, R., Dini-Andreote, F., Duijker, D., Stech, M., Speksnijder, A.G.C.L. 2025. Unveiling the ecological processes driving soil and lichen microbiome assembly along an urbanization gradient. npj Biofilms and Microbiomes 11, 99. https://doi.org/10.1038/s41522-025-00736-4

Tanis, M. 2020. Roof buzz. The relation between pollinator diversity and green roof characteristics. MSc student internship report, Bureau Stadsnatuur, Rotterdam.

Microbiele biodiversiteit in stadsbodems - Sjoerd Gremmen

Anthony, M.A., Bender, S.F., van der Heijden, M.G.A. 2023. Enumerating soil biodiversity. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 120(33), e2304663120. https://doi.org/10.1073/PNAS.2304663120

Helden, A.J., Stamp, G.C., Leather, S.R. 2012. Urban biodiversity: Comparison of insect assemblages on native and non-native trees. Urban Ecosystems 15(3): 611–624. https://doi.org/10.1007/S11252-012-0231-X/FIGURES/4

Threlfall, C.G., Mata, L., Mackie, J.A., Hahs, A.K., Stork, N.E., Williams, N.S.G., Livesley, S.J. 2017. Increasing biodiversity in urban green spaces through simple vegetation interventions. Journal of Applied Ecology 54(6): 1874–1883. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12876

Zheng, B., Hui, N., Jumpponen, A., Lu, C., Pouyat, R., Szlavecz, K., Wardle, D.A., Yesilonis, I., Setälä, H., Kotze, D.J. 2025. Urbanization leads to asynchronous homogenization of soil microbial communities across biomes. Environmental Science and Ecotechnology 25, 100547. https://doi.org/10.1016/j.ese.2025.100547

Paddenstoelen: symbolen van overlevingskracht - Jorinde Nuytinck

Blaschke, M., Siemonsmeier, A., Harjes, J., Okach, D.O., Rambold, G. 2023. Comparison of survey methods for fungi using metabarcoding and fruit body inventories in an altitudinal gradient. Archives of Microbiology 205(7), 269. https://doi.org/10.1007/s00203-023-03606-9.

Carini, P., Marsden, P.J., Leff, J.W., Morgan, E.E., Strickland, M.S., Fierer, N. 2016. Relic DNA is abundant in soil and obscures estimates of soil microbial diversity. Nature Microbiology 2(3), 16242. https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2016.242

Frøslev, T.G., Kjøller, R., Bruun, H.K., Ejrnæs, R., Hansen, A.J., Læssøe, T., Heilmann-Clausen, J. 2019. Man against machine: Do fungal fruitbodies and eDNA give similar biodiversity assessments across broad environmental gradients? Biological Conservation 233: 201–212. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.02.038.

Griffith, G.W., Roderick, K., Graham, A, Causton, D.R. 2012. Sward management influences fruiting of grassland basidiomycete fungi. Biological Conservation 145(1): 234–240. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.11.010.

Heegaard, E., Boddy, L., Diez, J.M., Halvorsen, R., Kauserud, H., Kuyper, T.W., Bässler, C., Gange, A.C., Krisai-Greilhuber, I., Andrew, C.J., Ayer, F., Høiland, K., Kirk, P.M., Egli, S. 2017. Fine-scale spatiotemporal dynamics of fungal fruiting: prevalence, amplitude, range and continuity. Ecography 40(8): 947–959. https://doi.org/10.1111/ecog.02256.

Hui, N., Liu, X., Kotze, D.J., Jumpponen, A., Francini, G., Setälä, H. 2017. Ectomycorrhizal fungal communities in urban parks are similar to those in natural forests but shaped by vegetation and park age. Applied and Environmental Microbiology 83(23), e01797-17. https://doi.org/10.1128/AEM.01797-17.

NMV-Nederlandse Mycologische Vereniging 2014. Wegbermen, lanen en parken: toevluchtsoord voor paddenstoelen. https://www.mycologen.nl/onderzoek/natuurbeheer/paddenstoelenbeheer/

Rieker, D., Runnel, K., Baldrian, P., Brabcová, V., Hoppe, B., Kellner, H., Moll, J., Vojtěch, T., Bässler, C. 2024. How to best detect threatened deadwood fungi – Comparing metabarcoding and fruit body surveys. Biological Conservation 296, 110696. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110696.

Steeman, R., Roobroeck, B., Gillekens, S. 2019. Gazonbeheer op maat van paddenstoelen. Een leidraad voor openbare besturen en particulieren. Natuurpunt studies & Hogeschool VIVES. https://www.ecopedia.be/groenbeheer/paddenstoelvriendelijk-gazonbeheer

Straatsma, G., Krisai-Greilhuber, I. 2003. Assemblage structure, species richness, abundance, and distribution of fungal fruit bodies in a seven year plot-based survey near Vienna. Mycological Research 107(5): 632–640. https://doi.org/10.1017/S0953756203007767.

De Kosmos van het korstmos - Arjen Speksnijder, Ken Kraaijeveld en Floyd Wittink

Honegger, R. 2000. Simon Schwendener (1829-1919) and the Dual Hypothesis of Lichens. The Bryologist 103(2): 307-313. https://doi.org/10.1639/0007-2745(2000)103[0307:SSATDH]2.0.CO;2

Mawarda, P.C., Speksnijder, A., Krijger, D., Berkhout, J., Hoogenboom, A., Duijker, D.A., Khoiri, A.N., Kraaijeveld, K., Stech, M., Wittink, F. 2026. Functional redundancy and stability support the resilience of the *Evernia prunastri* holobiont under urbanization. Environmental Microbiome 21, 65. https://doi.org/10.1186/S40793-026-00886-8

Mawarda, P.C., van der Kaaij, R., Dini-Andreote, F., Duijker, D., Stech, M., Speksnijder, A.G.C.L. 2025. Unveiling the ecological processes driving soil and lichen microbiome assembly along an urbanization gradient. npj Biofilms and Microbiomes 11(1), 99. https://doi.org/10.1038/s41522-025-00736-4

Waterworth, S.C., Egbert, S., Sorensen, J., O'Keefe, B.R., Beutler, J.A. (2025). A Biosynthetic and Taxonomic Atlas of the Global Lichen Holobiont. Environmental Microbiology 27(6), e70112. https://doi.org/10.1111/1462-2920.70112

Genetische monitoring: Biodiversiteitsanalyses met DNA technieken - Arjen Speksnijder, Ken Kraaijeveld en Floyd Wittink

Knight, R., Vrbanac, A., Taylor, B.C., Aksenov, A., Callewaert, C., Debelius, J., Gonzalez, A., Kosciolek, T., McCall, L.-I., McDonald, D., Melnik, A.V., Morton, J.T., Navas, J., Quinn, R.A., Sanders, J.G., Swafford, A.D., Thompson, L.R., Tripathi, A., Xu, Z.Z., Zaneveld, J., Zhu, Q., Caporaso, J.G., Dorrestein, P.C. 2018. Best practices for analysing microbiomes. Nature Reviews Microbiology 16(7): 410–422. https://doi.org/10.1038/s41579-018-0029-9

Nugent, A., Allison, S.D. 2022. A Framework for Soil Microbial Ecology in Urban Ecosystems. Ecosphere 13(3), e3968. https://doi.org/10.1002/ecs2.3968

Quince, C., Walker, A.W., Simpson, J.T., Loman, N.J., Segata, N. 2017. Shotgun metagenomics, from sampling to analysis. Nature Biotechnology 35(9): 833–844. https://doi.org/10.1038/nbt.3935

Mos: een oplossing voor stedelijke problemen? - Max Veeger

Veeger, M., Ottelé, M., Jonkers, H.M. 2025. Evaluating mosses on bioreceptive concrete: Effective sound absorbers? Building and Environment 281, 113194. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113194

Veeger, M., Ottelé, M., Jonkers, H.M. 2026. Growing moss on bioreceptive concrete using a novel two-step approach: The effects of light, water, and species selection. Ecological Engineering 223, 107839. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2025.107839

Veeger, M., Nabbe, A.A.N., Ottelé, M., Jonkers, H.M. 2023. Bioreceptive concrete: State of the art and potential benefits. Heron 68(1): 47–76. http://heronjournal.nl/68-1/4.pdf

Veeger, M., Veenendaal, E.M., Limpens, J., Ottelé, M., Jonkers, H.M. 2025. Moss species for bioreceptive concrete: A survey of epilithic urban moss communities and their dynamics. Ecological Engineering 212, 107502. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107502

Wilde bijen in de stad - Erik van der Spek

Peeters, T.M.J., Smit, J., van der Spek, E. (eds.) 2021. Bijen in stad en dorp. Hymenovaria themanummer, 160 pp.

Groene oases in een grijze stad - Loes Kreemers en Carlijn Kappers

Kreemers, L., Kappers, C., Post, E., Renes, R.J. 2026. Gedragsonderzoek ruimte voor verborgen stadsnatuur. Wat stadsbewoners beweegt om biodiversiteit in hun eigen en gedeelde buitenruimte te versterken. Onderzoeksrapport, Hogeschool van Amsterdam – Lectoraat Psychologie voor een Duurzame Stad, 88 pp.

Vrienden van de Leidse Hortus - Adri Mulder en John van Ruiten

Beets, N., Land-Zandstra, A.M., Aivelo, T., Keßler, P.J.A. 2025. “What's that weed on the street?” Motivation and attitude of contributors and followers in a citizen science project studying pavement plants. Biological Conservation 311, 111408. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2025.111408.

Claerhout, T. 2023. Tims onderzoek. Hortus Leiden 2023, Hortus botanicus Leiden, pp. 40–41.

Mulder, A. 2023. Verborgen Stadsnatuur. Hortus Leiden 2023, Hortus botanicus Leiden, p. 39.

Taxon Foundation 2025. Expeditie Singelpark. https://taxonfoundation.com/project/expeditie-singelpark.

Colofon

Redactie: Manon Laterveer - de Beer (Blue Imprint), Agnes Westelaken, Eileen de Wit en Michael Stech (Naturalis Biodiversity Center)

Met bijdragen van: Niels de Zwarte (Het Natuurhistorisch / Bureau Stadsnatuur), Kees Vink (Erasmus University College), Wouter Moerland en Veronique Loeffen (Gemeente Leiden), Wouter van der Vegt en Matty Berg (Vrije Universiteit Amsterdam), Sjoerd Gremmen (Naturalis Biodiversity Center), Joyce van den Berg (Studio Berg), Hans Kaljee (Gemeente Amsterdam), Hannako Bakker (Heijmans NV), Jorinde Nuytinck (Naturalis Biodiversity Center), Huib Sneep (Greenwavesystems), Tim Claerhout (Hortus botanicus Leiden), Laurens Sparrius (Bryologisch-Lichenologische Werkgroep), Arjen Speksnijder (Ken Kraaijeveld en Floyd Wittink (Leiden Centre for Applied Bioscience (Hogeschool Leiden), Max Veeger (Technische Universiteit Delft), Auke Bleij en Maarten Dols (Respyre), Bon Uijting (Provincie Noord-Holland), Erik van der Spek (Nederlandse Entomologische Vereniging), Fons van Kuik (Cobra Groeninzicht), Loes Kreemers en Carlijn Kappers (Hogeschool van Amsterdam), Stichting Steenbreek, Adri Mulder en John van Ruiten (Vrienden van de Leidse Hortus) en Hansjorg Ahrens (Naturalis Biodiversity Center)

Vormgeving en opmaak: Martine Hermsen (Naturalis Biodiversity Center)

Auteursrechten foto's: Alle rechten berusten bij de individuele fotografen. Neem voor hergebruik contact op met de bij de foto vermelde maker.

Drukker: Drukkerij De Bink
Duurzaam gedrukt op Red label Superior

Datum van publicatie: 15/09/2026

DOI: 10.5281/zenodo.22093206

Deze publicatie is onderdeel van het onderzoeksproject *Hidden Biodiversity* van de Nationale Wetenschapsagenda, projectnummer NWA.1389.20.111, gefinancierd door de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO).

Aan het project *Hidden Biodiversity* (Verborgen Stadsnatuur) hebben - naast de bovengenoemde redacteuren en auteurs van de hoofdstukken van dit boek - onder meer meegewerkt:
Hester Avis, Jeroen Barendse, Juliette Berkhout, Salvör Björnsdóttir, Alexander Bletsis, Bas Bonnet, Roland Butôt, Mathilde Cauchi, Martijn Damman, Noor de Bever, Mark de Kruiff, Jolanda de Schiffart, Marc de Vries, Roel Diepstraten, Anthony Does, Daan Drukker, Deniz Duijker, Jade Eversmann, Gert Fortgens, Julian Hage, Anna Heerdink, Martin Hermy, Melissa Hieroms, Emiel Hilgersom, Angela Hoogenboom, Coen Jansen, Hanneke Jelles-van der Vegt, Henk Jonkers, Louisa Kenny, Paul Keßler, Vayia Kladou, Jürgen Klingler, Marijn Knip, Peter Koomen, Daan Krijger, Haoxuan Li, Avila Lindgren, Yuri Matteman, Meghna Maurya, Panji Mawarda, Lizzie Meijer, Tisja Meijers, Daniëlle Meuleman, Vincent Nederpel, Marc Ottelé, Rob Pastoor, Nikola Petrusevski, Dennis Planjer, Derk-Jan Post, Eva Post, Michiel Reichwein, Reint Jan Renes, Marco Roos, Ela Sari, Mirjam Scheeres, Nienke Schijfsma, Joris Schrama, Mathilde Simons, Jaap Smit, Lotte Spijkerman, Han Teunissen, Katinka Touw, Luuk van der Goor, Rens van der Kaaij, Hans van der Made, Olaf van der Woude, Roel van Dijk, Anne van Duyvendijk, Caroline van Impelen, Meie van Laar, Amy van Nobelen, Paul van Staalduinen, Anna van Vulpen, Joost Verhagen, Dylan Verheul, Cas Verhoeven, Marrit Wind, Fiona Zachariasse, Youp Zegers.

We bedanken alle burgerwetenschappers die hebben meegedaan aan het project Hittestress meten met (korst)mossen en alle deelnemers aan het gedragsonderzoek van de Hogeschool van Amsterdam.

© auteurs, Naturalis Biodiversity Center, CC-BY

Naturalis Biodiversity Center

VERBORGEN STADS NATUUR

NWO

Verborgen Stadsnatuur website



