

bodem ook een fundamenteel middel voor de beperking van en aanpassing aan klimaatverandering. De gelijktijdige regeneratie van de stad en de bodem geeft een beeld van toekomstige bewoonbaarheid. Vanuit dit perspectief staan in de agglomeratie van Groot-Genève ‘bodem en arbeid’ bijvoorbeeld centraal in een visie voor 2050 en voor ecologische transitie.¹⁴ Ten volle rekening houden met de stads- en plattelandsgrond versterkt het traditionele planningsperspectief, dat hoofdzakelijk is gericht op het potentieel voor voedselproductie (tegenwoordig beschermde oppervlakken) of bodemstabiliteit (bosbescherming). Ook andere essentiële functies komen naar voren, zoals de opslag van koolstof in organisch materiaal in de bodem — wat de fundamentele bijdrage is van grond aan de strategieën ter beperking van klimaatverandering. ‘Levende bodem’ draagt vooral in begroeide toestand bij aan de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen. Bovendien speelt dergelijke grond een belangrijke rol bij de water- en warmteregulering, vooral tijdens extreme gebeurtenissen zoals overstromingen en hittegolven.

In het sterk verstedelijkte kanton Genève (het dichtstbevolkte kanton van de agglomeratie Groot-Genève) kan bijna 30 procent van de open oppervlakten (gebouwen en infrastructuur niet meegerekend) als stedelijk worden aangemerkt.¹⁵ Deze grond, die momenteel het strijdtoneel van het verdichtingsbeleid vormt, kan potentieel talrijke soorten ecosysteemdiensten leveren en bijdragen aan de beperking van klimaatverandering. Dit perspectief behelst kritiek op het huidige Zwitserse federale beleid — dat is gebaseerd op ‘inwaartse verstedelijking’ — ten faveure van een heroverweging van de functies van de stadgrond, zijn regeneratie en verbetering.¹⁶ Parallel daaraan zou een bezinning op een grotere territoriale bewoonbaarheid kunnen uitgaan van de herziening van het bestaande, verspreide nederzettingsspatroon, waarbij in verschillende delen van het stedelijk gebied milieu- en sociaal- economische kansen worden ontwikkeld.

De biopolitieke dimensie van de visie op Groot-Genève en de andere prototypen moge duidelijk zijn. Het is een oproep om Bernardo Secchi’s ‘Project van de grond’ te herlezen en te actualiseren. Een ‘stedenbouw van de levende bodem’ is een stap in dezelfde richting.

Vertaling: InOtherWords, Maria van Tol

14
Habitat Research Center, EPFL, *Soil and Labour: A Vision for the Great Geneva*, 2018-2020, gecoördineerd door Paola Viganò en onderdeel van de International Consultation ‘Prospective Visions for Greater Geneva’ (Brillard Foundation, Genève).
15
Zie de bijdrage van Martina Barcelloni en Pascal Boivin in dit nummer.
16
Zie: www.densipedia.ch/fr.

Teresa Galí-Izard, Luke Harris, Cara Turett and Bonnie Kate Walker

We, the Roots among You

Talking about roots is talking about exploration. Roots are explorers, and they are integrally connected to the substrate they explore through a dense and sensitive network of relationships with other organisms. But the needs of tree roots are too often ignored in the construction of the urban surface. Isolated, they must fight their way through heavily compacted substrates devoid of water and nutrients. Not only do the roots affect the survival of the tree, they also initiate the biological processes that transform a mineral substrate into a living soil. This article will first examine the constraints and opportunities for tree roots in the urban environment before proposing a rule-based system to transform the urban street in order to build a living soil that allows trees to thrive.

The Lives of Roots

As a tree grows, roots weave through the ground searching for nutrients and water while forming partnerships with other living entities. Through the division of cells at the root tip, a root traces a path and extends its contact surface, thus increasing its capacity to absorb nutrients and water from the soil. Through their explorations and exchanges, roots help to create the conditions for other organisms to thrive. In this process, it is difficult to discern where the roots end and the soil begins. Anthropologist Tim Ingold describes material conditions of exchange and mutual binding as ‘the meshwork’: an ‘ever-evolving weave’ through which beings thread their own paths.¹ Ingold attributes this entanglement to ‘the nature of living beings themselves that, by way of their own processes of respiration, of breathing in and out, they bind the medium with substances in forging their own growth and movement through the world’.² By turning our attention to roots we can understand soil as a living meshwork, in which the roots construct the ground they inhabit.

The process of building a tree’s root system is characterised by developments that mirror the stages of the growth of its canopy.³ To begin, the tree constructs a superficial system of perennial structural roots that grow in all directions.⁴ Over time, these structural roots become woody and serve as a reservoir of sugars and nutrients.⁵ Those roots repeat their process of growth several times in the tree’s central circumference, in many cases creating for each reiteration a new taproot growing downwards.⁶ At a certain point those structural roots stop their reiterations and extend themselves horizontally. This structural woody system supports a second stage of lateral roots that explore opportunities for nutrients, water and oxygen, and provide the structure for small absorptive roots.⁷ Those secondary roots are the beginning of an exponential system of deciduous absorbent roots, which enrich and aerate the soil through their decay, supporting microbial communities. The constant renovation of this secondary structure creates new opportunities for the soil to be explored. With this iterative pattern of growth, roots contribute to the making of their environment, in relationship with other species that inhabit the ground.

The unified living system that roots help to create connects the ground to the atmosphere in an integrated biotic and abiotic environment — a living medium of organic matter, bacteria, fungi and microorganisms that perform symbiotically. Central to this process is the tree’s partnership with fungal bodies called mycorrhizae, which attach to the root system. Through hyphal networks of extremely fine filaments, mycorrhizae rapidly spread through the

1
Tim Ingold, *Being Alive: Essays on Movement, Knowledge, and Description* (London/New York: Routledge, 2011), 71.
2
Ibid., 120.
3
Christophe Drénou, *Les racines: face cachée des arbres* (Paris: L’Institut pour le Développement Forestier, 2006), 71.
4
Claire Atger, ‘Racine et système racinaire des arbres: structure et développement’, *Plante et Cité* (2011), 1–38.
5
Ibid., 5.
6
Ibid., 26.
7
Ibid., 14.

Teresa Galí-Izard, Luke Harris, Cara Turett en Bonnie Kate Walker

Wij, de wortels onder jullie

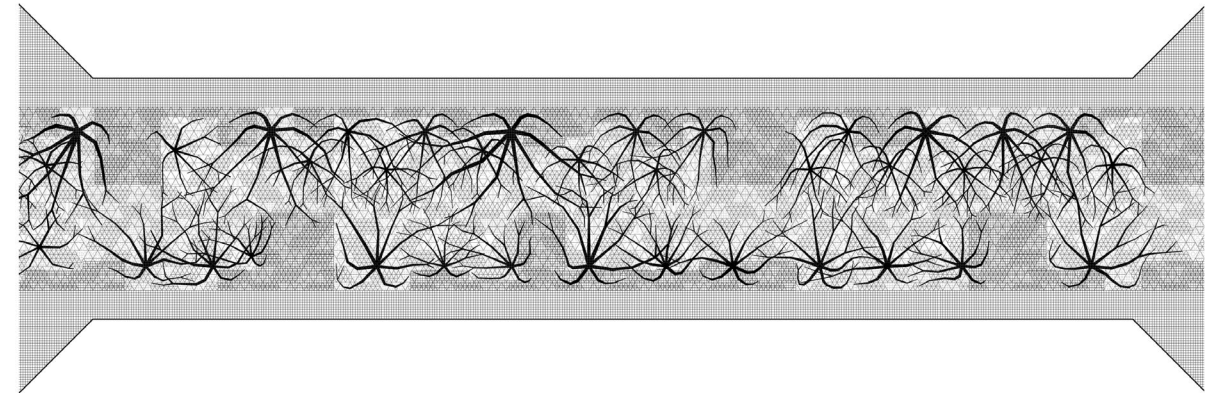
Praten over wortels is praten over verkenning. Wortels zijn verkenners die via een hecht en sensitief netwerk van relaties met andere organismen integraal verbonden zijn met de ondergrond die ze verkennen. Tijdens de aanleg van de bovengrondse stad worden de behoeften van boomwortels echter maar al te vaak genegeerd. Ze moeten zich geïsoleerd een weg zien te banen door sterk verdichte substraten die verstoken zijn van water en voedingsstoffen. Wortels beïnvloeden niet alleen de overlevingskansen van de boom, maar brengen ook de biologische processen op gang die een mineraal substraat kunnen veranderen in een levende bodem. In dit artikel worden om te beginnen de beperkingen en mogelijkheden onderzocht die boomwortels tegenkomen in de stedelijke omgeving. Vervolgens wordt een voorstel geformuleerd voor een regelsysteem om stadstraten te transformeren, zodat een levende bodem ontstaat waar bomen kunnen gedijen.

Het leven van wortels

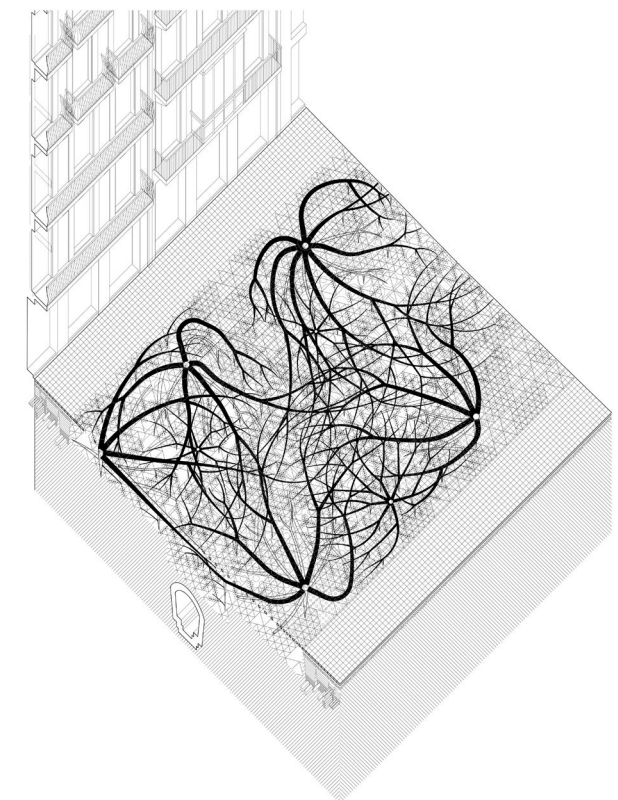
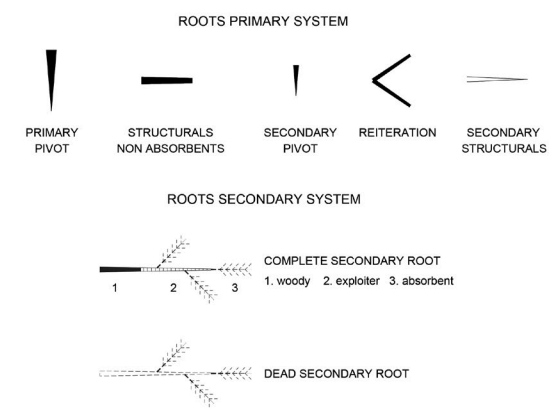
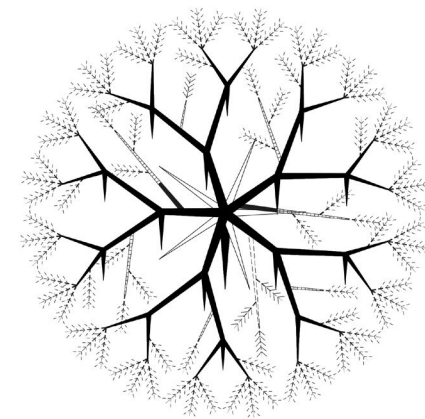
De wortels van een levende boom raken verweven met de bodem terwijl ze op zoek zijn naar voedingsstoffen en water. Ze gaan daarbij samenwerkingen aan met andere levende wezens. De wortels banen zich een weg via celdeling aan de wortelpunt en vergroten zo hun contactoppervlak, waardoor ze meer voedingsstoffen en water uit de bodem kunnen opnemen. Door deze verkenning en uitwisseling scheppen wortels mede de omstandigheden waarin andere organismen kunnen gedijen. In dit proces is het moeilijk te onderscheiden waar de wortel eindigt en de bodem begint. Antropoloog Tim Ingold omschrijft de fysieke voorwaarden voor uitwisseling en wederzijdse samenwerking als 'het netwerk', een 'zich almaar ontwikkelend weefsel' waardoorheen wezens hun weg zoeken.¹ Ingold schrijft deze verwevenheid toe aan 'de aard van levende wezens die, door middel van hun eigen ademhalingsprocessen, door in en uit te ademen, het medium aan de materie binden en zo hun eigen groei en beweging door de wereld scheppen'.² Als we onze aandacht op de wortels richten dan kunnen we de bodem begrijpen als een levend netwerk waarin de wortels de grond construeren waarin ze leven.

Het proces van het wortelstelsel van een boom wordt gekenmerkt door ontwikkelingen die de groeistadia van zijn bladerdak weerspiegelen.³ Om te beginnen maakt de boom een oppervlakkig stelsel van meerjarige structurele wortels aan die alle kanten op groeien.⁴ Na verloop van tijd worden deze structurele wortels houtachtig en gaan ze als reservoirs voor suikers en voedingsstoffen fungeren.⁵ Dit groeiproces herhalen de wortels verschillende keren in de directe omgeving van de boom, waarbij in veel gevallen per herhaling een nieuwe, naar beneden groeiende penwortel ontstaat.⁶ Op een gegeven moment stoppen deze structurele wortels met het herhalen van het groeiproces en beginnen ze zich horizontaal uit te breiden. Het structurele, houtachtige systeem ondersteunt de tweede fase, waarin zijwortels de mogelijkheid om voedingsstoffen, water en zuurstof op te nemen verkennen en houvast bieden aan kleine, absorberende wortels.⁷ Deze secundaire wortels zijn de voorlopers van een uitdijend systeem van tijdelijke, absorberende wortels die de bodem via hun verval verrijken en beluchten en zo de microbiële gemeenschap ondersteunen. De voortdurende vernieuwing van deze secundaire structuur schept nieuwe kansen om de bodem te verkennen. Door dit telkens herhaalde groeipatroon dragen wortels samen met andere soorten bodemleven bij aan de vorming van hun omgeving.

- 1 Tim Ingold, *Being Alive: Essays on Movement, Knowledge, and Description* (Londen/New York: Routledge, 2011), 71.
- 2 Ibid., 120.
- 3 Christophe Drénou, *Les racines: face cachée des arbres* (Parijs: L'Institut pour le Développement Forestier, 2006), 71.
- 4 Claire Atger, 'Racine et système racinaire des arbres: structure et développement', *Plante et cité* (2011), 1-38.
- 5 Ibid., 5.
- 6 Ibid., 26.
- 7 Ibid., 14.



Plan of proposed street condition / Plan van de voorgestelde toestand van de straat



A drawing language for roots / Een tekentaal voor wortels

Axonometry of root growth in the proposed system / Axonometrie van wortelgroei in het voorgestelde systeem

Het geheel van levende systemen dat de wortels helpen op te bouwen, verbindt de bodem met de atmosfeer tot een geïntegreerde biotische en abiotische omgeving — een levend medium van organisch materiaal, bacteriën, schimmels en micro-organismen die symbiotisch functioneren. In dit proces staat de samenwerking tussen de boom en schimmellichamen of mycorrhizae die zich aan de boomwortels hechten centraal. Mycorrhizae kunnen zich via netwerken van uiterst fijne schimmeldraden snel door de bodem verspreiden. Ze bereiken daarbij een gebied dat veel groter is dan het bereik van de boomwortels. De wortels verkrijgen dus toegang tot bronnen van voedingsstoffen en water waar ze anders niet bij zouden kunnen. In ruil daarvoor geven de wortels de schimmels suikers, die de boom via fotosynthese produceert. De gezondheid en de levensduur van de boom kan niet los worden gezien van het schimmelstelsel dat de boom ondersteunt.

Helaas is de huidige conditie van wortels in de stedelijke omgeving traumatiserend. Het stedelijke substraat is arm aan voedingsstoffen en organisch materiaal. Het is sterk verdicht en afgesloten van de lucht door ondoordringbare materialen die de mogelijkheden voor de uitwisseling van gassen en organisch materiaal uitsluiten. Onder deze omstandigheden is het geen verrassing dat de overlevingskansen van veel stadsbomen beperkt zijn.⁸ In dergelijke omstandigheden staat verkennen gelijk aan overleven; omgevingsstimuli sturen de richting en dichtheid van het wortelstelsel. De zeer flexibele prestaties van wortels in het extreem heterogeen stedelijke substraat illustreert hoe tropismen — de fysiologische processen die de groei richting essentiële grondstoffen sturen — de wortels helpen zich aan te passen aan een nieuwe omgeving.⁹ Het substraat rond buizenstelsels, bijvoorbeeld, die voedingsstoffen lekken en vocht verschaffen in een voor het overige dorre bodem, is een gangbaar groeipad voor verkennende wortels.¹⁰ Deze wortels verlaten al snel de grenzen van de hun toegewezen plantvakken en groeien richting een beter belucht substraat, waarbij ze op zoek naar grondstoffen lange afstanden afleggen.¹¹ De asymmetrische, opportunistische wortelstelsels die zo ontstaan zijn een gemeenschappelijk en veel voorkomend kenmerk van straatbomen in steden over de hele wereld.

Om de verdichting die de wortelstelsels van straatbomen teistert tegen te gaan, zijn technische oplossingen bedacht die de wortels voorzien van een substraat dat hun groei ondersteunt en ze in staat stelt zich onder de grond verder te ontwikkelen.¹² In voorkomende gevallen bestaat het substraat uit een aaneengesloten volume van steentjes vermengd met grond dat stabiel genoeg is om te worden gebruikt als basismateriaal onder bestrating, maar dat micro- en macroporiën heeft die de uitwisseling van gassen mogelijk maken die het plantenleven ondersteunen. Met behulp van dergelijke technische oplossingen kunnen verdichtings- en vruchtbaarheidsproblemen worden opgelost, maar omdat ze volledig onder de grond zitten, komt de logica van de wortels niet terug in de bovengrondse vorm van de stad.

Een adaptief systeem voor een levend substraat

We gaan even terug naar het 'netwerk' van Ingold. Het is de vraag, of het mogelijk is het patroon van het door wortels en hun aanhangers gevormde 'zich almaar ontwikkelende weefsel' in een bepaalde richting te sturen.¹³ Wij stellen voor om de bovengrondse stad van onderaf te ontwerpen: om de verbroken relatie tussen het substraat en de atmosfeer te herstellen, om een omgeving te creëren waar bomen kunnen gedijen. De gezondheid van de stadsbodem, die berust op een ingewikkeld netwerk van relaties, is dan eerder een kwestie van ontwerp dan louter de toepassing van technische oplossingen. De uitdaging is om een ontwerptaal voor de stedelijke conditie te ontwikkelen, een systeem dat de wortels in staat stelt deel te nemen

8
Uit een onderzoek in New York City naar de sterfte onder straatbomen bleek dat meer dan een kwart van de bomen tien jaar na aanplant al was gestorven. Jacqueline Lu et al., 'Biological, Social, and Urban Design Factors Affecting Young Street Tree Mortality in New York City', *Cities and the Environment* 3/1 (2011), artikel 5.

9
Yutaka Miyazawa et al., 'Root Tropism', *Advances in Botanical Research* 57 (2011), 349–375.

10
Johan Östberg et al., 'Risk of Root Intrusion by Tree and Shrub Species into Sewer Pipes in Swedish Urban Areas', *Urban Forestry & Urban Greening* 11/1 (2012), 65–71.

11
Örjan Stål en Kaj Rolf, 'Tree Roots and Infrastructure', in: Dan Neely en Gary W. Watson (red.), *The Landscape Below Ground II: Proceedings from the Second International Workshop on Tree Root Development in Urban Soils* (Savoy, IL: International Society of Arboriculture, 1998), 125–130.

12
Bijvoorbeeld de door Cornell University ontwikkelde CU-Structural Soil® en, meer recent, experimenten met het planten van bomen in een substraat bestaande uit gelijkvormige steentjes, compost en biokool in Stockholm. Zie: Björn Embrén, 'Planting Urban Trees with Biochar', *The Biochar Journal* (2016), 44–47.

13
Ingold, *Being Alive*, op. cit. (noot 1), 71.

soil, exceeding the area that can be covered by the roots themselves and giving the tree roots privileged access to sources of nutrients and water. In exchange, from the roots the fungi receive sugars produced by the tree's process of photosynthesis. It is impossible to separate the health and longevity of trees from the fungal network that supports them.

Unfortunately, the current story of roots in the urban condition is one of trauma. The urban substrate is devoid of nutrients and organic matter. It is heavily compacted and sealed off from the air, with impervious materials eliminating the potential for the exchange of gases and organic matter. Faced with these conditions, it is no surprise that many urban trees do not survive.⁸ In such conditions, exploration is survival, and environmental stimuli guide the direction and density of the root system. The highly flexible performance of roots in extremely heterogeneous urban substrates illustrates how tropisms, or the physiological processes that guide growth towards essential resources, help roots adapt to new environments.⁹ The substrates surrounding pipes, for example, which leach nutrients and provide moisture in an otherwise barren soil, are a common path of growth for root explorers.¹⁰ Quickly, these roots abandon the confines of their assigned planters and grow toward the more aerated substrate, travelling long distances in search of resources.¹¹ The asymmetrical, opportunistic root systems that emerge are a common trait in the majority of street trees in cities around the planet.

To address the compaction that plagues the root systems of street trees, technical solutions have been developed that provide roots with a substrate that supports their growth and allows for belowground continuity.¹² In these examples, the substrate consists of a continuous volume of rock mixed with soil that is stable enough to be used as a base material below pavement, but contains micro and macro pores that enable the interchange of gases that support plant life. These technical solutions address problems of compaction and fertility, but because they occur entirely belowground, they do not incorporate the logic of roots into the form of the city's surface.

An Adaptive System for a Living Substrate

Returning to Ingold's meshwork, we ask if it is possible to direct the pattern of the 'ever-evolving weave' formed by roots and their companions?¹³ We propose to design the urban surface from below, re-joining the severed relationship between the substrate and the atmosphere to build an environment for trees to thrive. Relying on an intricate network of relationships, the health of the urban ground is a question of design rather than simply the application of technical solutions. The challenge is to develop a design language for the urban condition, a system that allows the roots to participate in the creation of a fertile rhizosphere where life and decay are possible. In articulating a shared system for its collective inhabitation, the urban ground becomes 'a protagonist of an adventure in which humans are only one kind of participant'.¹⁴

This designed system defines a rule-based distribution of three components: a thick structural abiotic substrate, a carpet of continuous and porous pavement, and targeted infusions of organic matter. Trees are planted in the locations where they have the greatest chance to thrive and reach their full potential.

Structural Substrate

A volume of substrate under the surface of the street creates a continuous structural medium for the roots and their companions while supporting the human occupation of the surface. This volume must provide sufficient lateral space for the structural roots to spread as well as room for the tree's

8
A New York City study of street tree mortality found that more than a quarter of trees had died ten years after planting. Jacqueline Lu et al., 'Biological, Social, and Urban Design Factors Affecting Young Street Tree Mortality in New York City', *Cities and the Environment* 3/1 (2011), article 5.

9
Yutaka Miyazawa et al., 'Root Tropism', *Advances in Botanical Research* 57 (2011), 349–375.

10
Johan Östberg et al., 'Risk of Root Intrusion by Tree and Shrub Species into Sewer Pipes in Swedish Urban Areas', *Urban Forestry & Urban Greening* 11/1 (2012), 65–71.

11
Örjan Stål en Kaj Rolf, 'Tree Roots and Infrastructure', in: Dan Neely and Gary W. Watson (ed.) *The Landscape Below Ground II: Proceedings from the Second International Workshop on Tree Root Development in Urban Soils* (Savoy, IL: International Society of Arboriculture, 1998), 125–130.

12
For instance CU-Structural Soil®, developed by Cornell University and, more recently, experiments planting trees in a substrate composed of even-sized small stones, compost and biochar in Stockholm. See: Björn Embrén, 'Planting Urban Trees with Biochar', *The Biochar Journal* (2016), 44–47.

13
Ingold, *Being Alive*, op. cit. (note 1), 71.

14
Anne Lowenhaupt Tsing, *The Mushroom at the End of the World: On the Possibility of Life in Capitalist Ruins* (Old Saybrook, CT: Princeton University Press, 2017), 155.

aan de creatie van een vruchtbare rhizosfeer waarin leven en verval mogelijk zijn. Als we een gedeeld systeem voor collectieve bewoning weten te ontwikkelen, dan wordt de stadsbodem ‘de hoofdrolspeler in een avontuur waarin de mens slechts één soort deelnemer is’.¹⁴

In dit ontworpen systeem wordt een verdeling van drie componenten gedefinieerd: een dik, structureel, abiotisch substraat; een tapijt van doorlopende, poreuze bestrating en het gericht toevoegen van organisch materiaal. Bomen worden geplant op plekken waar ze de beste kans hebben om te groeien en de grenzen van hun mogelijkheden op te zoeken.

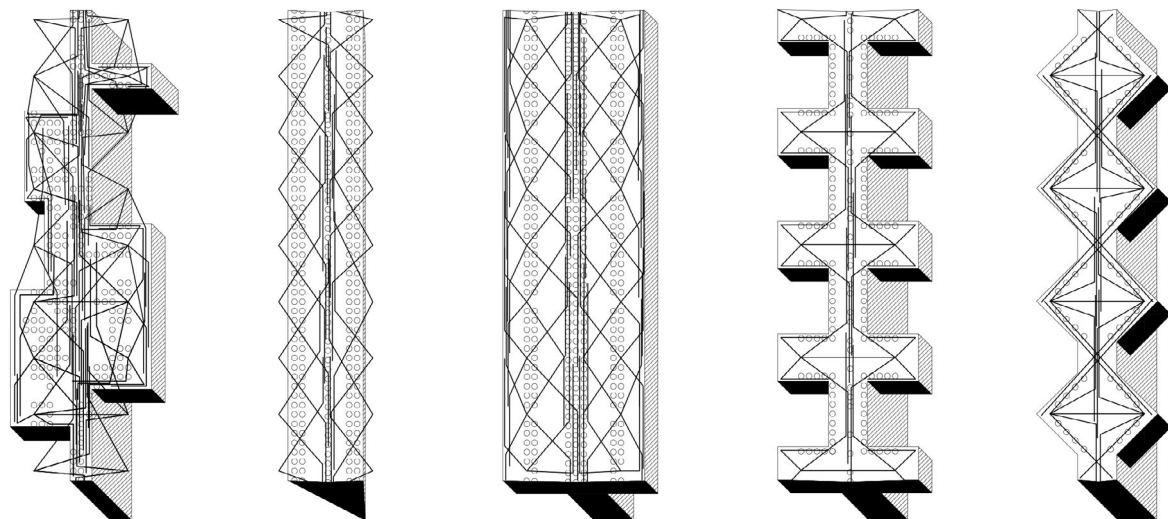
Een structureel substraat

Door middel van een hoeveelheid substraat onder het straatoppervlak wordt een ononderbroken structureel medium gecreëerd voor de wortels en hun aanhangers. Dit substraat ondersteunt tegelijkertijd het menselijke gebruik van de bovengrondse stad. Het moet zoveel zijdelingse ruimte bieden, dat de structurele wortels zich kunnen verspreiden en er ruimte is voor de centrale en perifere wortelsystemen van de boom. Het structurele substraat moet aaneengesloten zijn, maar het volume ervan kan worden aangepast aan bestaande infrastructuur en aan de omstandigheden van een straat. Het absorptienetwerk van de wortels weeft zich door dit structurele systeem heen en neemt een groot deel van het beluchte substraat in beslag.

Een poreus tapijt

Wij beschouwen de continuïteit van de stedelijke bovengrond als noodzakelijk voor menselijke activiteit. Ook geloven wij dat deze aaneengesloten laag – waar mensen op wonen – voor extra bovengrondse en ondergrondse uitwisseling moet zorgen en moet bijdragen aan het succesvolle functioneren

14
Anne Lowenhaupt Tsing,
The Mushroom at the End of the World: On the Possibility of Life in Capitalist Ruins
(Old Saybrook, CT: Princeton University Press, 2017), 155.



Distribution of the system in response to water availability / Spreiding van het systeem naargelang de beschikbaarheid van water

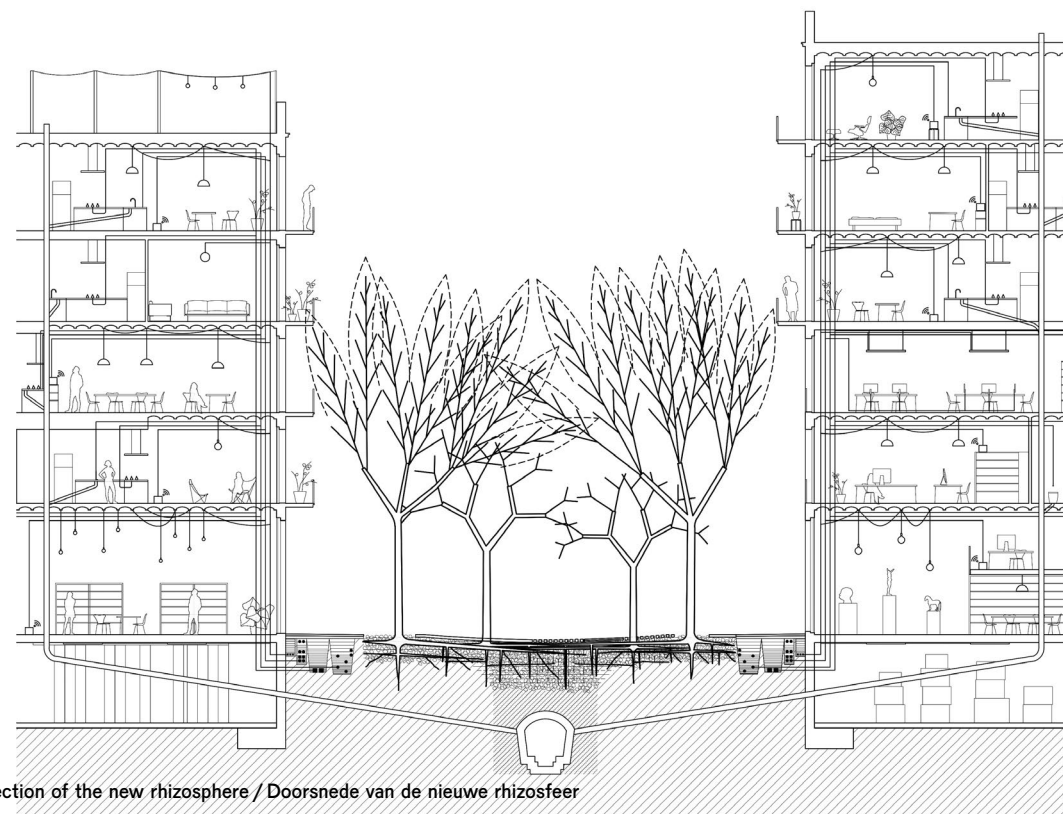
central and peripheral root systems. The structural substrate needs to be continuous, but its volume can adapt to the existing infrastructures and conditions of the street. The roots’ absorption network will weave through this structural system, occupying much of the aerated substrate.

A Porous Carpet

We see the continuity of the urban surface as necessary for human activity. We also believe this continuous layer – the site of human occupation – needs to facilitate additional exchange above and below the surface, and to collaborate in the successful performance of this new underground entity created by the relationship between roots and a living soil. A network of holes at the low point where water and oxygen can exchange, and a transversal slope towards this perforated area, is a simple strategy to support the interchange between ground and atmosphere.

Infusions of Organic Matter

Knowing that the potential for regular inputs of organic matter provided by the return of leaf litter to the soil are limited in the urban condition, long-term sources of decomposing organic matter must be incorporated into the system. The proposed design stimulates microbial activity through the addition of organic matter with different rates of decomposition. Grasses occupy the holes at the level of the street. The filamentous roots of the grasses, and their subsequent decay, increase the exchange between atmosphere and soil underground. In addition to the decay of roots, the system introduces woody logs and charcoal that will encourage fungi to slowly integrate organic material into the substrate. The rapid decay of roots and the slow decay of woody material by fungi and microorganisms will



Section of the new rhizosphere / Doorsnede van de nieuwe rhizosfeer

van deze nieuwe ondergrondse entiteit die ontstaat door de wisselwerking tussen wortels en levende bodem. De aanleg van een netwerk van gaten op de lage punten waar water en zuurstof kunnen uitwisselen, en van een dwarshelling in de richting van dit geperforeerde gebied, is een eenvoudige manier om de uitwisseling tussen grond en atmosfeer te ondersteunen.

Toevoeging van organisch materiaal

In de wetenschap dat de mogelijkheden voor de regelmatige toevoeging van organisch materiaal aan de bodem via de vertering van afgevallen bladeren in de stedelijke omgeving beperkt zijn, moeten langwerkende bronnen van ontbindend organisch materiaal in het systeem worden opgenomen. In het ontwerpvoorstel wordt microbiële activiteit gestimuleerd door de toevoeging van organische materialen met verschillende afbraaksnelheden. Grassen zijn geschikt voor de gaten op het niveau van de straat. Zowel de vezelige wortels van de grassen als hun uiteindelijke verrotting verhogen de uitwisseling tussen atmosfeer en de ondergrondse bodem. Naast verrotte wortels introduceert het systeem stukjes houtachtig materiaal en houtskool, die de schimmels ertoe aanzetten het organische materiaal langzaam in het substraat op te nemen. De snelle verrotting van de wortels en de langzame verrotting van het houtige materiaal door schimmels en micro-organismen brengen op strategische wijze biotische processen op gang in het abiotische substraat, zodat de interacties tussen organismen tot stand komen die nodig zijn om deze levende entiteit optimaal te laten functioneren.

Systeem

Verschillende componenten werken zo samen om een levende stadsbodem te creëren. Op de schaal van een enkele straat kunnen de regels die de verdeling van de componenten en hun verhoudingen bepalen, worden aangepast op basis van kansen en beperkingen. Veranderingen in het substraat kunnen tot uitdrukking komen in het bovengrondse tapijt, waar de grootte en dichtheid van de gaten kunnen variëren, afhankelijk van de hoeveelheid mogelijkheden om uitwisseling te stimuleren. Deze perforaties kunnen worden aangebracht op plaatsen waar niet zo veel voorzieningen zitten, in een rechte lijn onder de rijbanen van auto's en weg van gevels, en in een denser vorm bij kruisingen van straten. Op de schaal van de stad wordt de ruimtelijke spreiding van het systeem bepaald door klimatologische patronen, plaatselijke mogelijkheden en beperkende factoren, zoals de beschikbaarheid van water, die van invloed zijn op de condities waarin bomen kunnen gedijen.¹⁵

Als we de logica van de wortels volgen, kunnen we een nieuwe taal voor de straat bedenken die de bovengrondse stad aanpast aan de groeipatronen en behoeften van de boom. Op die manier kunnen we onze stedelijke ruimte delen met dynamische en veerkrachtige levende systemen die met elkaar verweven zijn via een eenvoudig ondergronds netwerk. Om de stad te zien vanuit het perspectief van de wortel is een cognitieve verschuiving nodig. Hedendaagse ontwikkelingslogica's vatten bomen op als statische en geïsoleerde objecten die worden gebruikt om verstedelijkte gebieden te verfraaien of om ecosysteemdiensten te leveren.¹⁶ Kunnen we, om dit mechanistische wereldbeeld te pareren, deze levende wezens niet beschouwen als entiteiten waarmee mensen 'een vollediger milieu' moeten delen?¹⁷ Door aandacht te schenken aan wortels en deze te geven wat ze nodig hebben, kunnen we het gemakkelijker maken voor onze niet-menselijke burens om zich op creatieve wijze aan te passen aan de uitdagingen van de eenentwintigste eeuw.

15
Deze gebieden zouden kunnen worden gekozen op basis van een abstract grid zoals in Barcelona of New York City of zouden nadrukkelijker kunnen worden toegepast om specifieke doorlatende zones te creëren in steden met een variabel geologisch substraat, zoals Mexico City.

16
Zie voor een toelichting en kritiek op het concept 'ecosysteemdiensten': Kathryn Yusoff, 'The Valuation of Nature: The Natural Choice White Paper', *Radical Philosophy Archive* 170 (2011).

17
Augustin Berque, *Poetics of the Earth: Natural and Human History* (Londen/New York: Routledge, 2020), 161.

strategically jumpstart biotic processes within the abiotic substrate to create the interactions between organisms that allow this living entity to perform at its full potential.

System

These components function in concert to create a living urban ground. On the scale of a single street, the rules that govern the distribution of the components and their proportions can be adjusted based on opportunities and constraints. Changes in the substrate can be expressed in the superficial carpet, where the sizes and densities of the holes can range based on where there are more opportunities to encourage exchange. These perforations can occur where there are fewer utilities, along linear paths below the lanes of cars and away from façades, becoming denser at street crossings. At an urban scale, the spatial distribution of the system will be defined by climatic patterns, local opportunities and limiting factors such as water availability that affect the conditions for trees to thrive.¹⁵

By following the logic of roots, it is possible to create a new language for the street that adapts our urban surface to the growth patterns and needs of the tree. In doing so, we open the possibility of sharing our urban spaces with dynamic and resilient living systems woven together through a simple subgrade infrastructure. To see the city from the perspective of the root requires a cognitive shift. Contemporary development logics treat trees as static and isolated objects that exist to decorate urban areas or provide 'ecosystem services'.¹⁶ To counter this mechanistic worldview, can we instead see living things as entities with whom humans must 'share a more profound milieu'?¹⁷ By paying attention to roots and giving them what they need, we can prepare the ground for our nonhuman neighbours to creatively adapt to the challenges of the twenty-first century.

15
These areas could be chosen as an abstract pattern of streets on a block system like Barcelona or New York City, or could be applied more incisively to achieve certain zones of permeability in cities with variable geologic substrate, as in the case of Mexico City.

16
For an explanation and critique of the concept of ecosystem services, see: Kathryn Yusoff, 'The Valuation of Nature: The Natural Choice White Paper', *Radical Philosophy Archive* 170 (2011).

17
Augustin Berque, *Poetics of the Earth: Natural and Human History* (London/New York: Routledge, 2020), 161.