



Bodemkwaliteitsindicatoren voor stadslandbouw en stedelijk groen

Wetenschappelijke basis en praktijktoepassing

Erik van den Elsen, Paul Römkens, Jaap Bloem, Simone Verzandvoort, Gerard Korthals,
Dorothee Leenders -van Tol

Bodemkwaliteitsindicatoren voor stadslandbouw en stedelijk groen

Wetenschappelijke basis en praktijktoepassing

Erik van den Elsen¹, Paul Römken¹, Jaap Bloem¹, Simone Verzandvoort¹, Gerard Korthals²,
Dorothee Leenders-van Tol¹

1 Wageningen Environmental Research

2 CSE/NIOO-KNAW

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en Aeres in opdracht van en gefinancierd door AMS Institute en Flevocampus (gemeente Almere), in het kader van het project 'Healthy Soils for the Amsterdam Metropole' (HS4AMS) (projectnummer 5200044828).

Wageningen Environmental Research

Wageningen, februari 2021

Gereviewd door:

Dr. Jack Faber, Wageningen Environmental Research

Akkoord voor publicatie:

Mirjam Hack, teamleider van Bodem, Water en Landgebruik

Rapport 3054

ISSN 1566-7197

Erik van den Elsen, Paul Römken, Jaap Bloem, Simone Verzandvoort, Gerard Korthals, Dorothee Leenders -van Tol, 2021. *Bodemkwaliteitsindicatoren voor stadslandbouw en stedelijk groen; Wetenschappelijke basis en praktijktoepassing*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3054. 60 blz.; 21 fig.; 6 tab.; 34 ref.

Relevante bodemkwaliteitsindicatoren voor landbouwkundige toepassingen zijn al langer geselecteerd, maar voor specifieke toepassingen binnen de stedelijke omgeving nog niet. In dit rapport worden relevante indicatoren geselecteerd voor het beoordelen van de bodemkwaliteit binnen de Metropool Regio Amsterdam voor de toepassing 'stadslandbouw' en 'stedelijk groen'. Binnen elk van deze toepassingen wordt nog een subselectie gemaakt van relevante indicatoren. Aan de hand van een casestudy in de 'Fruittuinen van West' in Amsterdam wordt voor de toepassing 'stadslandbouw' een voorbeeld voor het gebruik van bodemkwaliteitsindicatoren uitgewerkt.

Trefwoorden: stadslandbouw, stedelijk groen, indicatoren, bodemkwaliteit, beoordeling, bodem

Relevant soil quality indicators for agricultural applications have been available for some time, but not yet for specific applications within the urban environment. In this report, relevant indicators are selected for assessing soil quality within the Amsterdam metropolitan region for the application 'urban agriculture' and 'urban green'. Within each of these applications, a further sub-selection of relevant indicators is made. On the basis of a case study in the 'Fruittuinen van West' -area in Amsterdam, an example for the use of soil quality indicators is being developed for the application 'urban agriculture'.

Keywords: urban agriculture, urban green, indicators, soil quality, assessment, soil

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/539905> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© CC-BY 4.0 - 2021 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001. Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Inhoud

	Verantwoording	5
	Woord vooraf	7
	Uitgebreide Samenvatting	9
1	Inleiding	13
	1.1 Achtergrond	13
	1.2 Aanleiding	14
	1.3 Bodemindicatoren in de stedelijke omgeving	14
	1.4 Doelstelling	15
	1.5 Afbakening	15
2	Indicatoren voor Stadslandbouw en Stadsgroen: het concept	16
	2.1 Achtergrond van de gekozen benadering	16
	2.2 Ontwikkeling van indicatoren voor stadslandbouw en stadsgroen: geen 'one-size-fits-all'-aanpak	17
3	Indicatoren voor Stadslandbouw	20
	3.1 Diversiteit	21
	3.2 Beschrijving van de functies voor stadslandbouw	22
	3.3 Bodemkwaliteit voor moestuinen	24
	3.4 Keuze van indicatoren bij stadslandbouw: voedselveiligheid en risico's voor spelende kinderen als primaire factoren voor de beoordeling	25
	3.5 Selectie van indicatoren	27
4	Indicatoren voor het meten van bodemkwaliteit in stedelijk groen	29
	4.1 Specifieke aspecten van Stadsparken	29
	4.2 Bodemeigenschappen die bepalend zijn voor de kwaliteit van stadsgroen	31
	4.2.1 Infiltratie, waterberging en watervasthoudend vermogen	31
	4.2.2 Draagkracht	32
	4.2.3 Verdichting	32
	4.2.4 Textuur	33
	4.2.5 Bodemvruchtbaarheid	33
	4.2.6 Verzilting	34
	4.2.7 Verontreiniging	34
	4.2.8 Organische stof	35
	4.2.9 Zuurgraad – pH	35
	4.2.10 Biodiversiteit boven- en ondergronds	36
	4.3 De keuze van relevante indicatoren in relatie tot bodemeigenschappen en veelvoorkomende problemen in stadsgroen	36
5	Casestudie stadslandbouw: Fruittuin van West	39
	5.1 Achtergrond	39
	5.2 Locatie, specifieke vragen en plan van aanpak	39
	5.3 Resultaten analyses: chemisch-fysisch-biologisch	42
	5.3.1 Milieukundige aspecten: voedselveiligheid	43
	5.3.2 Landbouwkundige en bodembologische aspecten: productie	44
	5.3.3 Bodemfysische Indicatoren: draagkracht en vernatting	47
	5.4 Integratie van resultaten en beoordeling bodemkwaliteit	50

6	Discussie en aanbevelingen	52
6.1	Discussie	52
6.2	Aanbevelingen	52
	Literatuur	53
Bijlage 1	Functies van bodems in de stad	55
Bijlage 2	Indicatorsets voor stadslandbouw	56
Bijlage 3	De bodemopbouw van een aantal parken in de Amsterdam Metropool	57

Verantwoording

Rapport: 3054

Projectnummer: 5200044828

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord Referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Senior onderzoeker

naam: Dr. Jack Faber

datum: december 2020

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Dr. Mirjam Hack

datum: december 2020

Woord vooraf

In 2019 is het project Healthy Soils for the Amsterdam Metropole (HS4AMS) van start gegaan, als onderdeel van het programma The Feeding City van de Flevo Campus. De inhoud is afgestemd met de kwartiermaker en programmaleider van de Flevocampus en passend bevonden voor het bodemprogramma Soil-Food-City Nexus, onderdeel van The Feeding City.

Flevo Campus is een samenwerkingsverband tussen Aeres Hogeschool Almere, Wageningen University & Research (sinds 2019), de Gemeente Almere en de Provincie Flevoland, en heeft tot doel stedelijke voedselvraagstukken voor de toekomst – en dan met name voor de Metropool Regio Amsterdam (MRA) – te beantwoorden. Tot eind 2019 maakte ook het Amsterdam Institute for Advanced Metropolitan Solutions (AMS Institute) deel uit van Flevo Campus. Omdat het HS4AMS-project deels door het AMS Institute werd gefinancierd, werd bij het vertrek van dit instituut uit het samenwerkingsverband het project voortijdig beëindigd en konden niet alle projectresultaten die in het projectvoorstel zijn genoemd, worden gerealiseerd. Dit rapport beschrijft de resultaten die tot nu toe zijn behaald. Het is niet af, niet compleet, maar vormt een startpunt voor verdere ontwikkelingen.

De auteurs van dit rapport willen tot slot partner Aeres bedanken. De bodem staat momenteel volop in de belangstelling. Mogelijk volgen daaruit nog meer samenwerkingsprojecten en kunnen we daadwerkelijk in livinglabs samen aan de slag. Helaas was er niet de mogelijkheid om alle suggesties te verwerken die we tijdens de review hebben gekregen.

Uitgebreide Samenvatting

De bodem is cruciaal voor de mens, het is een van de belangrijkste bronnen van voedsel en bouwstoffen, platform voor activiteit en reiniging van water en lucht. Het belang van een goed functionerend bodemsysteem wordt de laatste decennia steeds duidelijker. In de stedelijke omgeving heeft de bodem dezelfde functies, alleen staat hier de bodemkwaliteit meer onder druk vanwege het intensieve langdurige gebruik van de bodem, wat o.a. kan resulteren in verdichting, verontreiniging, afdekking door o.a. bestrating en bebouwing, en ondergronds gebruik door aanleg van leidingen en bekabeling. Door al deze zaken wordt er een flink beroep gedaan op de ecosysteemdiensten die de bodem levert en komen allerlei natuurlijke functies en processen in het gedrang.

Dit resulteert in het feit dat ook de 'groene gebieden' in het Amsterdam Metropoolgebied, waaronder stadslandbouw en stedelijk groen, en de functies die deze groene gebieden leveren – onder andere voedselproductie, recreatie en klimaatadaptatie – steeds meer onder druk komen te staan en het lastiger wordt de kwaliteit van deze gebieden en de diensten die ze leveren, te waarborgen. De bodem speelt hierbij een cruciale rol.

Beheerders en bestuurders hebben behoefte aan het kunnen duiden van de bodemkwaliteit binnen stadslandbouw en stadsgroen om de kwaliteit van deze gebieden op peil te kunnen houden of om de bodemkwaliteit te verbeteren. De kwaliteit van landbouwbodems kan worden gemeten aan de hand van indicatoren die voor deze context zijn ontwikkeld (voor Nederlandse situatie o.a. 'Bodemkwaliteitsindicatoren voor Landbouwgronden in Nederland, BLN' - Hanegraaf et al., 2019 en 'Noodzakelijke indicatoren voor de beoordeling van de gezondheid van Nederlandse landbouwbodems' (SHI-Agriculture)) – van den Elsen et al., 2018 – deze indicatorsets zijn bruikbaar voor zo veel mogelijk verschillende doelen), maar omdat de bodem in de stadslandbouw en stadsgroen, de functie ervan én de eisen die gebruikers en beheerders aan de bodem stellen vrij specifiek zijn, is het nodig om voor deze gebieden een specifieke subset van indicatoren te selecteren uit BLN en SHI-A. In dit rapport worden voor zowel stadslandbouw als stadsgroen lijsten met indicatoren gepresenteerd die kunnen worden gebruikt om specifiek in deze gebieden de bodemkwaliteit te duiden. De reden van het selecteren van deze specifieke subsets, met soms specifieke doelen of voor specifieke omstandigheden, wordt in dit rapport verduidelijkt.

Binnen de grenzen van het Amsterdam Metropoolgebied wordt stadslandbouw gekenmerkt door een grote diversiteit aan verschijningsvormen en schaalniveaus: van eenvoudige stoeptegeltuinen tot commerciële landbouwbedrijven. De voornaamste functies die de stadslandbouw levert, zijn recreatie en voedselproductie. Bij dat laatste is de voedselveiligheid een belangrijke factor. Voedselproductie stelt bepaalde eisen aan de bodem: die moet in fysisch, chemisch en biologisch opzicht geschikt zijn voor het telen van gewassen, maar er worden minder hoge eisen gesteld dan bij de commerciële landbouw. Het geteelde voedsel zelf moet veilig zijn, dus bij consumptie mag de maximale inname van schadelijke stoffen de TDI (*Tolerable Daily Intake*) niet overschrijden. Bovendien moet de bodem veilig zijn om op en in te werken, wat eisen stelt aan de concentraties van gehalten aan gezondheidsbedreigende stoffen. Dit is niet voor alle stadsbodems het geval; als in het verleden een locatie voor verschillende doelen is gebruikt, kunnen er allerlei zaken met de grond vermengd zijn, industrieel afval, restanten van olietanks of stadsafval, maar ook zware metalen, organische microverontreinigingen zoals Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) en andere chemische stoffen. De bodem waarop stadslandbouw wordt bedreven, kan ook nog van elders zijn aangevoerd en is mede daardoor van wisselende kwaliteit.

De keuze van indicatoren wordt sterk bepaald door de functies die aan de bodem worden gesteld en aan het veiligheidsaspect. Ook de bodemvruchtbaarheid speelt een belangrijke rol, omdat voor gebruikers van de stadslandbouw productie, hoe kleinschalig ook, belangrijk is. Door deze combinatie van factoren komt de nadruk op chemische indicatoren te liggen, zoals hierboven is beschreven. De keuze voor fysische indicatoren wordt voornamelijk gestuurd door de waterbeschikbaarheid en de

bewortelbaarheid voor de geteelde gewassen en de begaanbaarheid van het terrein na (hevige) regenval. Door beperkte kennis op het gebied van biologische indicatoren en de functie van afzonderlijke organismen en de algehele biodiversiteit in de bodem, blijft de keuze van biologische indicatoren beperkt tot de hoeveelheid aanwezige algemene groepen organismen (regenwormen, bacteriën en schimmels) en hun voedselbron, organische stof. De lijst met indicatoren voor stadslandbouw is verdeeld in drie hoofdgroepen met elk een eigen prioriteit; 'voedselveiligheid & gezondheid kinderen', 'productie en bodemgezondheid' en 'algemene bodemconditie'.

Tabel 1 Overzicht van Indicatoren voor stadslandbouw met onderscheid naar een aantal relevante aspecten.

Categorie	Indicator	Hoofdaspect		
		Voedselveiligheid & gezondheid kinderen	Productie en bodemgezondheid	Algemene bodemconditie
Fysisch	Dichtheid	Nee	Ja	Optioneel
	Indringingsweerstand	Nee	Ja	Optioneel
	Watervasthoudend vermogen	Nee	Ja	Ja
	Doorlatendheid	Nee	Ja	Optioneel
Chemisch	Gehalten aan contaminanten (totaal – reactief – beschikbaar ¹)	Ja	Optioneel, (afhankelijk van historie terrein)	Optioneel, (afhankelijk van historie terrein)
	pH	Ja	Ja	Ja
	Organische stof	Ja	Ja	Ja
	Textuur (% < 2µm)	Optioneel	Ja	Ja
	N-min	Optioneel	Ja	Nee
	N, P, K Nutriëntenstatus	Nee	Ja	Optioneel
	Micronutriënten	Nee (onder contaminanten)	Ja	Nee
Biologisch ²	Regenwormen aantallen en diversiteit	Nee ³	Optioneel	Ja
	Aaltjes diversiteit en aantallen	Nee	Optioneel	Ja
	Bacterie- en schimmelbiomassa	Nee	Optioneel	Ja
	Heet water extraheerbaar koolstof (HWC) ⁴	Nee	Nee	Ja
	Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) ⁴	Nee	Optioneel	Ja

¹ Voor metalen en een deel van organische contaminanten, o.a. PAK, bestaat een dergelijk systeem. Voor andere, veelal 'nieuwe' contaminanten (Nanodeeltjes, medicijnen) niet.

² Afgeleid van: Indicatorset 1.0 voor landbouwgronden, BLN (Hanegraaf et al., 2019, gebaseerd op Van den Elsen et al., 2019 en De Haan et al., 2019).

³ De verwachting is dat de invloed van het in de volkstuintjes aanwezige bodemleven op de kwaliteit van voedsel m.b.t. contaminanten gering is. In saneringsprojecten worden wel organismen ingezet om verontreinigingen af te breken, echter dit is op een heel andere schaal.

⁴ Deze bepaling geeft een indicatie van biologische activiteit in de bodem.

Stadsgroen, een verzamelnaam voor zowel stadsparken als groenstroken, vervult meerdere functies binnen de stad. De voornaamste functies zijn recreatie, individueel of in de vorm van evenementen, en klimaatmitigatie, waarbij het stadsgroen voor een prettiger leefklimaat zorgt in een steeds warmer wordende stad en bij hevige regenbuien als waterbuffer kan dienen. De ondergrond van de stadsparken en groenstroken in de Amsterdamse metropoolregio zijn vaak niet representatief voor soortgelijke gebieden in de rest van Nederland: de hele metropoolregio ligt onder de zeespiegel waardoor vaak het grondwaterniveau relatief hoog is en de bodemtypen vaak afwijkend zijn en brengen specifieke kenmerken met zich mee, zoals de bodem onder Amsterdam, bestaande uit een combinatie van klei en veen, of de bodem onder Almere, die bestaat uit gerijpte zeeklei. Uit een respondentenonderzoek onder beheerders en bestuurders uit de regio kwam naar voren dat er een behoefte bestaat aan (meer) bodeminformatie over verdichting, infiltratie, waterberging en watervasthoudend vermogen, verzuring, lage organischestofgehalten, verontreiniging, verzilting, de bodemstructuur en het functioneren van het bodemleven.

Aan de hand van deze informatiebehoefte en van een analyse van bodemeigenschappen, kenmerken en omstandigheden die voor kunnen komen in stadsgroen in de metropoolregio, is een lijst opgesteld van meest relevante fysische, biologische en fysische indicatoren. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen bodems waarbij hydrologische problemen een rol spelen en bodems waarbij dit niet het geval is. Bij stadsgroen spelen fysische indicatoren een veel belangrijkere rol dan bij stadslandbouw, omdat veel problemen in stadsgroen zijn gerelateerd aan de heersende hydrologie in combinatie met de eis dat stadsgroen ook een klimaat-mitigerende rol moet hebben. Met name de vraag naar de waterregulerende eigenschap van bodem (watervasthoudend vermogen, infiltratiesnelheid) komt hierin terug. Voor de bodemchemie valt de keuze op die indicatoren die belangrijk zijn voor gewasgroei en voor contaminanten. De biologische indicatoren beperken zich ook hier tot de hoeveelheid aanwezige groepen organismen (regenwormen, bacteriën en schimmels) en hun voedselbron, organische stof.

Tabel 2 Overzicht van indicatoren voor stadsgroen met onderscheid naar een tweetal relevante aspecten.

Categorie	Indicator	Conventioneel	Problemen met hydrologie
Fysisch	Textuur	Ja	Ja
	Droge bulkdichtheid	Ja	Ja
	Indringingsweerstand	Ja	Ja
	Watervasthoudend vermogen	Optioneel	Ja
	Infiltratiesnelheid	Optioneel	Ja
Chemisch	Gehalten aan contaminanten (totaal – reactief – beschikbaar)	Optioneel ³	Optioneel ³
	pH	Ja	Ja
	Organische stofgehalte	Ja	Ja
	Electrical Conductivity (EC)	Ja	Ja
	N, P, K Nutriëntenstatus	Ja	Ja
	Micronutriënten	Optioneel	Optioneel
Biologisch ¹	Heet water extraheerbaar koolstof (HWC) ²	Ja	Ja
	Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) ²	Ja	Ja
	Regenwormen aantallen en diversiteit	Optioneel	Optioneel
	Bacteriële- en schimmelbiomassa	Optioneel	Optioneel

¹ Afgeleid van indicatorset 1.0 voor landbouwgronden (Hanegraaf et al., 2019, gebaseerd op Van den Elsen et al., 2019 en De Haan et al., 2020).

² Even een indicatie van de biologisch activiteit van de bodem.

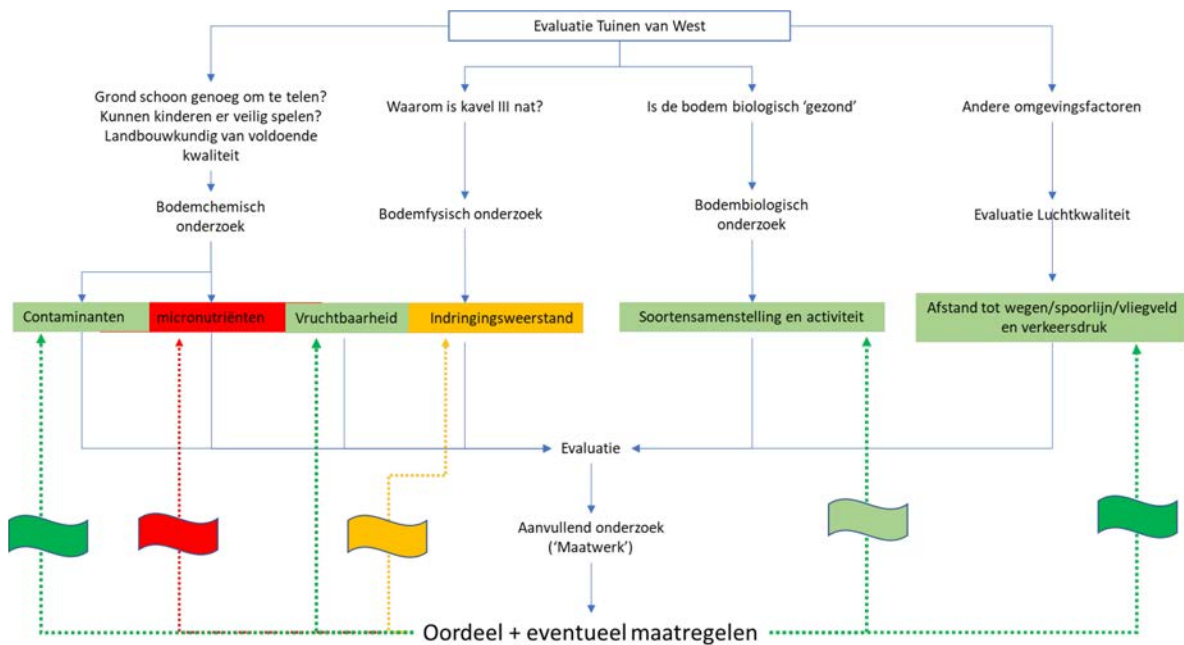
³ Indien de historie van het park/perceel daar aanleiding toe geeft.

Wat betreft het beoordelen van de bodemkwaliteit aan de hand van indicatoren voor stadsgroen is er vanuit diverse bronnen informatie te vinden over dichtheid en indringingsweerstand, hydrologie (gerelateerd aan watervasthoudend vermogen en infiltratiesnelheid), de nutriëntenstatus en verontreinigingen. Voor bodembioologische indicatoren bestaat er een beperkt aantal streefwaarden en/of referentiewaarden voor stadsgroen.

De Fruittuin van West (<http://www.fruittuinenvanwest.nl>) is een fruitkwekerij aan de westkant van Amsterdam van ca. 16 ha, met diverse fruitgewassen en dieren, in bedrijf sinds 2014. De boomgaard is biologisch-dynamisch gecertificeerd met het Demeter-keurmerk.

Aan de hand van onderstaand schema en de indicatorlijst voor stadslandbouw wordt antwoord gegeven op drie vragen van de grondeigenaar:

1. Een deel van de tuinen, met name in kavel I en II, vertoont specifieke afwijkingen aan de gewassen. Kan het zijn dat er sprake is van gebrek? En zo ja, wat is daar dan de reden voor?
2. Een deel van kavel III is (zeer) slecht ontwaterd, er staan regelmatig plassen aan het oppervlak, wat is hiervan de reden?
3. Kavel IV, tegenover het fruittuingedeelte, is aangelegd op grond uit een depot. Onduidelijk is wat de kwaliteit van deze bodem is. Een deel van kavel 4 is in gebruik als moestuin en een deel als weiland. Kan dit of zijn er gebruiksbeperkingen nodig?



Bovenstaande figuur vat de evaluatie van de bodemkwaliteit binnen het bedrijf Fruittuin van West samen. (Kleuren van de vlag: donkergrond: goed, lichtgroen: voldoende tot goed, geel: aandachtspunt, mogelijk beperkende factor voor productie; rood: duidelijk beperkende factor voor groei en/of productie.

Omdat het landgebruik en doelstellingen van elkaar afwijken, wijken ook de eisen die aan de bodemkwaliteit worden gesteld van elkaar af en zullen ook de relevantste indicatoren voor het beoordelen van de bodemkwaliteit verschillen. Binnen de indicatoren van de ecotopen stadslandbouw en stadsgroen hebben we een verdere prioritering aangebracht om zo gericht mogelijk de bodemkwaliteit te kunnen beoordelen.

Conclusie: om deze systematische aanpak te verbeteren, zal er in de toekomst meer werk aan gedaan moeten worden.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De bodem waarop we leven en onze activiteiten ontplooiën, is cruciaal voor de mens. De bodem is de bron van een belangrijk deel van ons voedsel, leefgebied voor dieren en plaats voor natuur inclusief recreatie voor de mens. Daarnaast is de bodem ook zeker zo belangrijk voor de hele voedselkringloop, waterhuishouding, schone lucht en onze behoefte aan vezels (voeding, kleding, bouw materiaal). Figuur 1 geeft een samenvatting weer van de basisfuncties van de bodem.

Regulerende 'diensten' die de bodem ons 'levert', zijn onder andere het reinigen van water, infiltratie en opslag van regenwater, opslag van voedingsstoffen (nutriënten) en CO₂ en reguleren van het klimaat. Dit soort diensten worden Ecosysteemdiensten, ofwel Ecosystem Services (ES) genoemd (Figuur 1). Hoewel dergelijke diensten de kwaliteit van leven ondersteunen, wordt het belang van de bodem, zijn natuurlijke voorraden en de ecosysteemdiensten die deze levert, nog niet altijd op waarde geschat (Dominati, 2010).



Figuur 1 De bodemfuncties schematisch weergegeven (Bron: Umweltbundesamt, Oostenrijk).

De laatste decennia wordt men zich steeds meer bewust van het belang van een goed functionerende bodem. Dit is zeker van belang als we spreken over bodems die worden gebruikt voor agrarische productie, maar is net zo belangrijk binnen bijvoorbeeld stedelijke gebieden. Te denken valt dan specifiek aan voedselproductie in stadslandbouwsystemen, zoals volkstuinen en voedselbossen, en stadsgroen (parken en groenstroken). Voor dit laatste geldt dat een goed functionerend bodemsysteem cruciaal is voor klimaatmitigatie in de stad. Daarnaast spreken we niet alleen van een goed functionerende bodem als die bodem de door de mens gewenste diensten *nu* kan verlenen, maar ook wanneer deze bodem dit in de toekomst kan blijven doen. We spreken dan van duurzaam gebruik.

Hiervoor is het nodig dat het zogeheten ecosysteem van de bodem goed functioneert (Brussaard, 1997), zodat de bodem zich voortdurend kan herstellen tijdens het leveren van zijn diensten en tegelijkertijd voldoende veerkracht heeft om invloeden van onder meer klimaatverandering, toenemende infrastructuur en recreatieve druk, die het goed functioneren van het ecosysteem van de bodem ondermijnen, te weerstaan. Daarbij is het cruciaal alle facetten van het bodemecosysteem mee te nemen. De bodem is namelijk een complex medium waar biologische, chemische en fysische processen een interactie aangaan.

1.2 Aanleiding

Tegen de bovengeschetste achtergrond is het voor gebruikers, beheerders en bestuurders belangrijk 'grip' te krijgen op het medium bodem en de kwaliteit ervan. Grip in dit verband betekent zowel dat we in staat zijn de huidige kwaliteit van de bodem voor het huidige of toekomstige gebruik te beoordelen alsook deze kwaliteit in te toekomst blijvend te kunnen waarborgen. Als we specifiek kijken naar de functies die te maken hebben met 'bodem in de stad', en dan met name stadslandbouw en stadsgroen (als 'ecosysteemdienst' voornamelijk vertegenwoordigd door '③ medium voor plantengroei' in Figuur 1), willen we graag de bodemkwaliteit kunnen beoordelen en daar waar nodig zo efficiënt mogelijk de eigenschappen die minder of slecht presteren, verbeteren. Daarvoor is het in eerste instantie nodig om deze 'relevantste' bodemeigenschappen, of bodemindicatoren, te benoemen.

1.3 Bodemindicatoren in de stedelijke omgeving

Na een periode van verminderde aandacht, staat de bodem sinds een aantal jaren, ook internationaal, weer volop in de belangstelling. Enkele decennia geleden was bodemverontreiniging in Nederland actueel, een problematiek die onder andere in het stedelijk gebied aandacht kreeg vanwege de volksgezondheid. Dit resulteerde in o.a. de BodemGebruiksWaarden (Lijzen et al., 1999), een richtlijn met streef- en interventiewaarden voor bodemverontreiniging. In de afbakening (paragraaf 1.5) wordt duidelijk dat in dit rapport niet de focus ligt op verontreinigingen, wat de reden is waarom daar in dit rapport niet verder op wordt ingegaan.

Op agrarisch gebied komen ook het bedrijfsleven en de politiek steeds meer tot het inzicht dat bodem een niet-vernieuwbare bron is waar we zuinig mee om moeten springen. Dit vertaalt zich voor Nederland onder andere in een nieuw aangekondigd landbouwbeleid rondom kringlooplandbouw (LNV, beleidsnota 2018) door het ministerie van Landbouw Natuur en Voedselkwaliteit. In het kader van onder andere dit nieuwe beleid zijn door WUR richtlijnen opgesteld voor het meten van bodemkwaliteit (*Bodemkwaliteitsbeoordeling van Landbouwgronden in Nederland - Indicatorset en systematiek, versie 1.0* – Hanegraaf et al., 2019; hierna in de tekst gerefereerd als de BLN-lijst of 'BLN'). Dit rapport geeft een eerste richtlijn voor het meten en monitoren van bodemkwaliteit op landbouwgronden: welke indicatoren zijn het belangrijkste voor de landbouw. Daarbij is het wel belangrijk te beseffen dat deze lijst van indicatoren opgesteld is met betrekking tot specifieke functies, of diensten, die in eerste instantie beoordeeld moeten worden. Voor landbouwbodems in Nederland betreft dat in eerste instantie de capaciteit als productiemedium voor voedsel en voedergewassen. Een tweede functie die meer en meer belangrijk geacht wordt en in de indicatoren prominent aanwezig is, is de opslag van C in de bodem. Dat laatste zowel in het licht van de klimaatproblematiek alsook vanuit de cruciale rol die organische stof in de bodem speelt bij de biologische activiteit en een aantal bodemfysische aspecten als temperatuurregulatie en watervasthoudend vermogen.

Omdat de bodem ook een belangrijke *resource* is in niet-landbouwgebieden, met name de stedelijke omgeving, is het belangrijk om ook hier te kijken naar welke indicatoren belangrijk zijn voor het beoordelen van de bodemkwaliteit. De stedelijke omgeving is wezenlijk anders dan een landbouwakker of een weiland; en aan de bodem in de stedelijke omgeving worden ook andere eisen gesteld (Verzandvoort et al., 2020). Zelfs binnen de stedelijke omgeving kunnen we onderscheid maken in manieren van gebruik en daarbij horende gebruikseisen die dat aan de bodem stelt. In dit rapport maken we daarbij onderscheid tussen twee deelgebieden binnen de stedelijke omgeving:

stadslandbouw en stadsgroen. Zowel het bodemgebruik als de eisen die gebruikers aan deze twee deelgebieden stellen, zijn wezenlijk anders. Dit betekent ook dat we moeten nagaan of het zinvol is om voor beide systemen een afzonderlijke lijst van relevantste bodemindicatoren en de beoordeling daarvan op te stellen die gebruikt kunnen worden bij de evaluatie van de bodemkwaliteit.

1.4 Doelstelling

In het projectplan is zijn onderstaande drie punten als doelstelling voor het gehele project geformuleerd; het tweede is uitgewerkt in dit rapport:

- *De bodeminformatiebehoefte in de MRA inventariseren:*
 - *Voor welke vraagstukken is wat voor soort informatie over bodem en ondergrond nodig?*
 - *In welke vorm is die het best bruikbaar voor verschillende stakeholders?*
- *De Soil Health Index (SHI) praktisch toepasbaar maken als instrument om de bodemgezondheid te beoordelen in praktijksituaties in en om de stad in het algemeen en in MRA in het bijzonder (SHI-Urban: SHI-U). In een vervolgstadium kunnen op basis van deze beoordeling alternatieve, duurzamere vormen van bodembeheer en -gebruik worden bedacht door een team van stakeholders en experts.*
- *Samenhang creëren tussen een aantal belangrijke projecten over de rol van de bodem in de MRA in de vorm van een Living Lab (zie WP5). Dit levert enerzijds op dat data en informatie over de bodem in de MRA op een integrale manier kunnen worden gebruikt (omdat zowel fysische, chemische als biologisch gegevens worden meegenomen en er wordt gekeken naar harmonisatie en integratie van databestanden) en anderzijds dat stakeholders die belang hebben bij een goed functionerende bodem meedenken over welke informatie van belang is, er dus bekend mee zijn en er dus makkelijker gebruik van kunnen maken.*

Het praktisch toepasbaar maken van de Soil Health Index (Van den Elsen et al., 2019) als instrument om bodemgezondheid te beoordelen in praktijksituaties in en om de stad wordt als *deliverable* uitgewerkt in de vorm van dit rapport. De deliverable wordt als volgt omschreven in het projectplan:

- *Een optimale indicatorset voor een SHI-U waarmee ook in de praktijk bodemgebruik en -beheer in de stad is bij te sturen. Gebaseerd op de ervaringen en data van de Living Lab-locaties in de stad.*

Het laatste, het afstemmen van de indicatorset, de SHI-U, op praktijkervaringen en data in living lab-locaties in de stad heeft helaas niet kunnen plaatsvinden, omdat het project voortijdig is beëindigd.

1.5 Afbakening

Dit rapport richt zich op het selecteren van voor bepaalde doelen relevante bodemkwaliteitsindicatoren in de Amsterdam metropool, en dan met name indicatoren die belangrijk zijn in het kader van bodemkwaliteit van stadsgroen en stadslandbouw. Hoewel aspecten van bodemverontreiniging terugkomen in verschillende overwegingen, wordt niet verder ingegaan op het voorkomen en/of remediëren of andere aspecten van bodemverontreinigingen. Aan risicobeoordeling van eventuele verontreinigingen wordt ook geen aandacht besteed.

Het begrip ecosysteemdiensten wordt in de inleiding genoemd om het belang van de bodem voor de mens te schetsen, maar dit concept vormt geen leidraad in dit rapport.

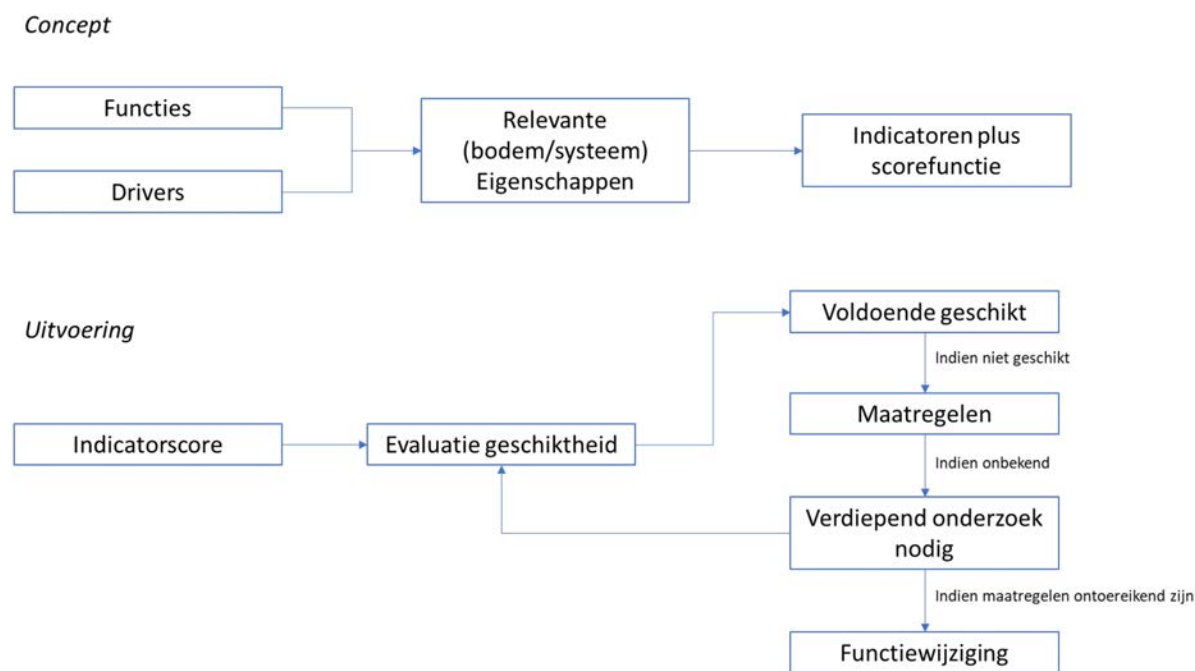
Hoewel niet onbelangrijk, worden geen streef-, referentie- of grenswaarden gegeven voor de uiteindelijk geselecteerde indicatoren: dit zou een onderdeel vormen van het vervolgtraject van dit project; het werk in de zogenaamde living labs. Hier zijn we, in verband met het eerder beëindigen van het project, niet aan toegekomen.

De selectie van indicatoren gebeurt op basis van literatuuronderzoek en kennis van de auteurs, niet op basis van specifiek praktijkonderzoek binnen dit project.

2 Indicatoren voor Stadslandbouw en Stadsgroen: het concept

2.1 Achtergrond van de gekozen benadering

Voor de ontwikkeling van de indicatoren voor stadslandbouw en stadsgroen geldt dat er steeds sprake is van de koppeling van een bepaalde *functie* van een locatie, de daarvoor *relevante bodemeigenschappen* en de set van *indicatoren* (inclusief beoordeling) die inzicht geven in de kwaliteit van de relevante eigenschappen in het licht van de functie. Daarbij kunnen verschillende drivers (sturende randvoorwaarden of typische kenmerken) bepalend zijn voor veranderingen (nu en in de toekomst) van de kwaliteit van die eigenschappen. Dit is in Figuur 2 schematisch weergegeven.



Figuur 2 Afleiding en toepassing indicatorsysteem voor stadslandbouw en stadsgroen zoals in dit rapport nader uitgewerkt.

In *stadslandbouw* wordt de bodem in de eerste plaats gebruikt voor voedselproductie. Een specifiek aspect van stadsbodems is dat ze veelal van mindere kwaliteit zijn dan de gemiddelde landbouwbodem. Dat geldt dan zowel voor de aanwezigheid van ongewenste stoffen afkomstig van bijvoorbeeld afval of bouwpuin, maar ook de aanwezigheid van essentiële nutriënten en organische stof. Bij het opstellen van een lijst met relevante indicatoren ligt daarom de nadruk op het produceren van veilig voedsel dat door de gebruikers van de tuin zonder voorbehoud geconsumeerd kan worden. Concreet betekent dit dat de geteelde producten geen te hoge concentraties aan verontreinigingen zoals zware metalen en voor de mens schadelijke chemicaliën bevatten. In tweede instantie moet de bodem in gronden met een functie 'stadslandbouw' uiteraard ook landbouwkundig geschikt zijn om voedsel te produceren.

Grond voor stedelijk groen, zoals parken en groenstroken, heeft duidelijk een andere gebruiksfunctie dan grond gebruikt voor stadslandbouw. In geval van stadsgroen ligt de nadruk op het faciliteren van de recreatiebehoefte binnen de stad en, steeds vaker, het verbeteren van het lokale klimaat in de stad (klimaatadaptatie). In stedelijk groen ligt de nadruk daarom meer op het optimaliseren en het in stand houden van dit groen gegeven de druk die recreatie en fysieke (weers)omstandigheden opleggen. Een

voorbeeld van dergelijke druk is onder meer stedelijk groen in lagergelegen gebieden, wat binnen de metropool van Amsterdam vaker voorkomt. Hier leidt onder meer wateroverlast als gevolg van de toename in de intensiteit van de regenval, in combinatie met de toegenomen verharding tot problemen voor het goed functioneren van de bodem met de functie stadsgroen.

In aanvulling op de beoordeling van *bestaande* terreinen, stadslandbouw of stadsgroen, ontstaan er ook steeds nieuwe initiatieven, zoals het ontwikkelen van voedselbossen of het in gebruik nemen van nieuwe stukken grond in de nabijheid van de stad. Vaak hebben eigenaren of gebruikers van dergelijke percelen behoefte aan informatie over de bodemkwaliteit om zodoende het gewenste gebruik (fruittuin, moestuin, voedselbos) optimaal te kunnen inrichten. Op dit moment is de hoeveelheid data van een aantal specifieke bodemeigenschappen die in dat geval relevant zijn vrij beperkt, en leven er bij de gebruikers veel vragen variërend van vragen over mogelijke bodemverontreiniging, beschikbaarheid van micronutriënten, de mate waarin het bodemleven actief is tot vragen over de ontwatering van de bodem. En ofschoon er ook voor een aantal van deze specifieke gebruiksvormen nog behoefte is aan aanvullende kennis, bijvoorbeeld over de rol van bodemleven bij het beschikbaar maken of houden van voedingsstoffen, is een set van bodemindicatoren zoals hier voorgesteld belangrijk voor het kunnen beoordelen van (gebrek aan) bodemkwaliteit.

In de hiernavolgende hoofdstukken wordt voor deze typen bodemfuncties, te weten stadslandbouw en stadsgroen, gekeken welke bodemindicatoren het relevantst zijn voor de beoordeling van de bodemkwaliteit. Anders dan in geval van een aantal indicatoren, is het daarbij nog niet altijd mogelijk aan te geven wat voor een gegeven indicator dan een goede waarde (meetresultaat) is. Dat geldt bijvoorbeeld voor een aantal bodembioologische indicatoren waarvoor nu wel duidelijk is dat ze een belangrijke rol spelen bij de hier beschouwde functies, maar de kwantitatieve onderbouwing van wat dan 'slecht', 'voldoende' of 'goed' is, is nog in ontwikkeling. Daar staat tegenover dat voor een aantal indicatoren bijvoorbeeld gerelateerd aan de productie van veilig voedsel er wel al richtlijnen zijn. Daar waar mogelijk zullen we deze per gekozen indicator aangeven.

2.2 Ontwikkeling van indicatoren voor stadslandbouw en stadsgroen: geen 'one-size-fits-all'-aanpak

Het concept van het gebruiken van indicatoren voor de beoordeling van de kwaliteit van bodems heeft de laatste jaren een grote vlucht genomen. Een van de meer recentelijk uitgewerkte systemen is opgesteld door Cornell University (CASH, Moebius-Clune et al., 2016). Daarbij ligt de nadruk op het beoordelen en integreren van zowel chemische, biologisch als fysische kenmerken van de bodem. Dit omdat het besef is gegroeid dat een bodem meer is dan een minimaal gewenste hoeveelheid aan nutriënten of organische stof nodig voor gewasproductie.

In Nederland is deze ontwikkeling al enkele decennia geleden gestart en heeft recentelijk geresulteerd in een tweetal nieuwe concepten voor de integrale beoordeling van, tot nu toe, landbouwbodems. Dit betreft de Open Bodem Index (OBI, <https://www.openbodemindex.nl/>) en de Bodemkwaliteitsbeoordeling van Landbouwgronden in Nederland (BLN, Hanegraaf et al., 2019). Zoals de naamgeving van beide systemen al suggereert, richten beide systemen zich in eerste instantie op 'klassieke' landbouwgronden (akkerbouw, grasland).

Bij het opstellen van de lijst van indicatoren maken we ook bij de ontwikkeling van de indicatorsets voor stadslandbouw en stadsgroen gebruik van bestaande kennis. Bij het vaststellen van een geïntegreerde indicatorset van fysische, chemische en biologische indicatoren gaan we daarbij deels uit van (recente) bestaande vakliteratuur (zie literatuurlijst), maar maken uiteraard ook gebruik van de methoden (en argumenten) van de BLN en voorloper daarvan; het rapport 'Meest relevante indicatoren voor de beoordeling van de gezondheid van Nederlandse landbouwbodems' (Van den Elsen et al., 2019). Daarnaast is de bij de auteurs van dit rapport aanwezige vakkennis gebruikt.

In dezen is het ook belangrijk te beseffen dat gebruikers of beheerders van bodems of terreinen vaak voorkennis hebben van het historische gebruik van de bodem. Dat is relevante kennis om nog beter in

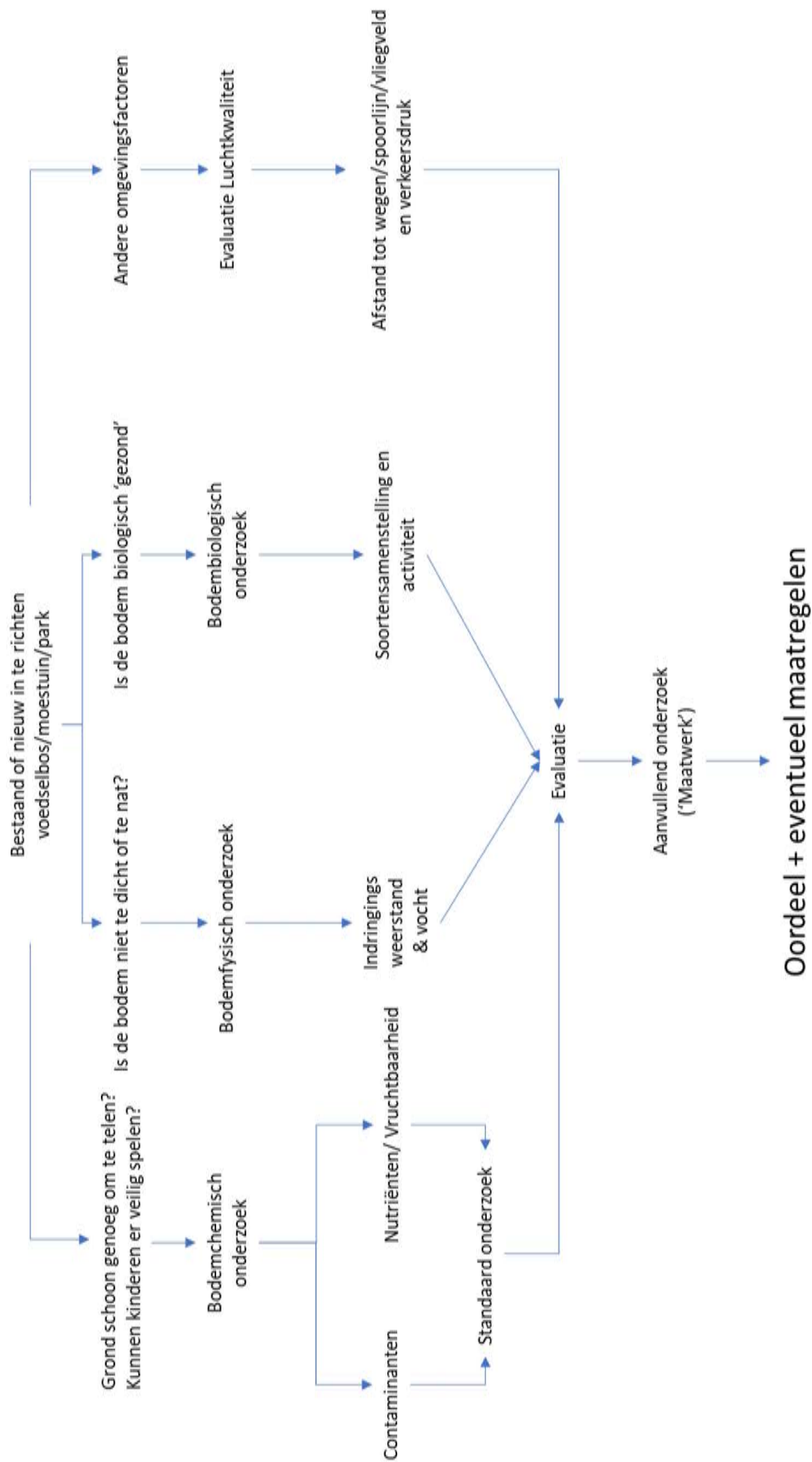
te kunnen schatten welke aspecten van bodemkwaliteit mogelijk beperkend zullen zijn bij het (gewenste) toekomstige gebruik. Veel meer dan in geval van reguliere landbouwgronden kennen stadsbodems namelijk een extreem verschillende gebruiksgeschiedenis. Zo leert de praktijk dat een groot deel van de stadslandbouwprojecten gevestigd zijn op bodems op voormalige bouwterreinen of zelfs op of grenzend aan voormalige industriële complexen. Uiteraard geldt dat weer niet voor bijvoorbeeld nieuw aan te leggen groenstroken of moestuincomplexen in geval van stadsuitbreiding. In die gevallen is kennis van de landbouwkundige gebruiksgeschiedenis weer relevanter.

Ongeacht het historisch gebruik van de bodem is kennis van deze gebruiksgeschiedenis relevant om te bepalen welke aspecten van bodemkwaliteit sturend gaan zijn voor een duurzaam gebruik van de bodem (Verzandvoort et al., 2020).

Daarmee wijkt de methodiek in dit rapport dus enigszins af van die van de OBI en BLN. Een cruciaal verschil is onder meer dat voordat bepaalde methoden gekozen worden, er meer dan voor landbouwbodems gekeken wordt wat de bestaande locatie specifieke informatie van bodemkwaliteit van het terrein of park is. Dat kan gebeuren via gesprekken met eigenaren of beheerders dan wel via informatie van het (historisch) landgebruik.

Op basis van die informatie kunnen bepaalde indicatoren meer van belang zijn dan andere. Juist omdat in geval van stadslandbouw en stadsgroen de setting (achtergrond, historisch gebruik, huidige gebruik) sterk kan verschillen per case noopt dat ook tot het al dan niet meer in detail bepalen van chemische, fysische of biologische parameters.

Het voorgaande maakt duidelijk dat voor de beoordeling van de kwaliteit van de bodem voor gebruik als moestuin, voedselbos of stadsgroen niet één indicator maatgevend kan zijn. Het is juist de optelsom van bodemchemische, bodemfysische, bodembioologische en omgevingsfactoren die maakt dat een locatie geschikt is of een bodem in zijn huidige vorm voldoende van kwaliteit is. Dit is in Figuur 3 schematisch weergegeven.



Figuur 3 Schematische weergave van de bepaling van de kwaliteit van de bodem voor gebruik als voedselbos, moestuin of landbouwgrond.

Een ander relevant verschil in de methodiek ten opzichte van andere indicatorsystemen is dat er sprake kan zijn van aanvullend onderzoek indien de standaardmethoden daar aanleiding toe geven. Uiteindelijk is het doel van de methodiek om tot een beoordeling te komen over de kwaliteit van de bodem en daar waar nodig maatregelen te benoemen. In deze fase van het project ligt de nadruk op het benoemen van relevante indicatoren. Deels kunnen we daar al een aantal beoordelingskaders aan koppelen, maar deels ontbreken die ook. Vooral voor chemische en fysische indicatoren geldt dat er redelijke tot goede kaders zijn die hanteerbaar zijn om een toestand te kunnen beoordelen. Voor biologische indicatoren is dat veel minder het geval. Daar waar er voor landbouwsystemen al referentiebeelden ontwikkeld zijn voor een aantal bodembioologische kentallen in het project Bodembioologische Indicator (Bobi, Rutgers et al., 2007; 2014), zijn die voor stadsgroen en stadslandbouw in Nederland nauwelijks ontwikkeld.

3 Indicatoren voor Stadslandbouw

3.1 Diversiteit

Het begrip stadslandbouw lijkt op het eerste gezicht een redelijk eenduidige omschrijving, namelijk een vorm van landgebruik waarbij het op kleine schaal telen van gewassen in het stedelijk gebied centraal staat. De vorm, omvang en aard van het concept stadslandbouw kan echter veel meer dan voor reguliere landbouw zeer sterk uiteenlopen (Dekking, 2018). Wat schaalniveau van stadslandbouw betreft, varieert dit van een 'stoeptegeltuin' waarbij op een zeer klein oppervlak, soms letterlijk een tegel, een of twee planten gekweekt worden, tot commerciële landbouwbedrijven die zich binnen of rond de stadsgrenzen gevestigd hebben (Figuur 2). Daartussen bevinden zich de bekendere vormen van stadslandbouw, met name de moestuin(complexen) en voedselbossen of 'fruittuinen', die al dan niet geclusterd binnen de stadsgrens voorkomen.



A. (Fruit)tuinieren op 0,5 m² (Veenendaal)



B. Binnentuin Amsterdam



C. (Fruit)tuinieren op 0,5 m² (Veenendaal)



D. Peri-urbaan landbouwbedrijf (Amsterdam)

Figuur 4 Vormen van stadslandbouw, van stoeptegeltuin (A), via individuele (binnen) tuinen (B) binnentuinen en moestuincomplexen (C) tot (semi)commerciële landbouwbedrijven (D) (Foto's: Paul Römkens).

Voor deze laatste vorm (commerciële bedrijven) geldt dat de bodems onder deze bedrijven ook beoordeeld kunnen worden aan de hand van de BLN (Hanegraaf et al., 2019) of andere recentelijk ontwikkelde indicatorsystemen (OBI, 2019), omdat hier de productie centraal staat. Temeer omdat dergelijke bedrijven veelal gevestigd zijn op 'normale' landbouwgronden op grotere percelen, die niet

of veel minder zijn beïnvloed door bouwactiviteiten. Toch is er een groeiend aantal voorbeelden van commerciële, recentelijk opgerichte bedrijven die in de periferie van de stad gevestigd zijn, deels op 'stadgrond', d.w.z. grond beïnvloed door menselijk handelen (bijv. aanvulgrond uit de stad). Een voorbeeld hiervan is onder meer de Tuinen van West. Verreweg het grootste deel van de al langer bestaande commerciële stadslandbouwprojecten bevindt zich echter aan de rand van de stad en valt daarmee buiten de scope van indicatorlijsten voor stadslandbouw en stadsgroen die in dit rapport worden gepresenteerd. De indicatorlijst voor stadslandbouw focust vooral op de 'midden-categorie' wat schaalniveau betreft en omvat vooral de privémoestuinen horende bij woonhuizen tot en met grotere stadstuincomplexen die her en der van oudsher in de stad gevestigd zijn. Het voorbeeld van de Tuinen van West geeft echter wel aan dat er een 'grijs' overgangsgebied is tussen de verschillende vormen van stadslandbouw.

Relevante functies moestuinen en eisen die dit aan de grond stelt

Door Verzandvoort et al. (2020) zijn functies van de bodem in de stad benoemd (cf. Tabel 1, hier opgenomen in Bijlage 1). Naast een recreatieve functie ('tuinieren') is de productie van m.n. groente, aardappelen en fruit voor de meeste gebruikers een belangrijke drijfveer voor het aanleggen en onderhouden van een moestuin. Daarom geldt *voedselveiligheid* bij de beoordeling van de bodemkwaliteit als een van de sturende criteria bij de keuze van relevante indicatoren. Daarnaast levert de bodem in de stads(moes)tuinen ook een bijdrage aan onder meer de functie waterberging (F2), klimaatregulering (F3), habitat voor biodiversiteit (F4), educatie (F5) en F7 waterzuivering (zelfreinigend vermogen). Specifieke aanvullende eisen die deze aanvullende functies kunnen stellen, worden in eerste instantie echter niet als prioritair beschouwd om de keuze van de indicatoren op te baseren.

Meer dan enige andere vorm van landgebruik geldt voor moestuinen (incl. wat grotere bedrijfsmatige vormen van stadslandbouw) dat de variatie in type, maar ook specifieke vragen m.b.t. bodemkwaliteit, enorm varieert. Dat maakt dat eender welke standaard set van indicatoren niet noodzakelijk de lokale aspecten in voldoende mate afdekt. Naast de hiernavolgende beschrijving van een aantal sleutelindicatoren zal dus voor elke locatie ook specifiek bepaald moeten worden wat eventueel aanvullende parameters kunnen zijn om lokale vragen t.a.v. bodemkwaliteit te beantwoorden. Meer dan voor landbouw geldt hier dus dat de keuze voor indicatoren varieert.

3.2 Beschrijving van de functies voor stadslandbouw

Voor het opstellen van een relevante set van indicatoren voor de kwaliteit van de stadsbodem specifiek gericht op de *productiefunctie* voor moestuinen is het belangrijk na te gaan wat de bodemkwaliteitseisen zijn waarvoor een dergelijke indicator een uitspraak moet kunnen doen. In volgorde van belangrijkheid:

1. Voedsel moet *veilig* zijn, dat wil zeggen, consumptie van groenten, fruit en andere producten mag niet leiden tot risico's voor de gezondheid. Daarbij gelden eisen t.a.v. de maximale inname van (schadelijke) stoffen (TDI: *Tolerable Daily Intake*) als richtinggevend. Voor privémoestuinen geldt dat de productie geen commercieel doel dient en eisen t.a.v. producten geteeld voor de (commerciële) markt zoals warenwetnormen gelden hier dan ook niet. Voor meer commercieel georiënteerde stadslandbouwbedrijven die producten verkopen geldt dit wel, d.w.z. producten moeten, voor zover warenwetnormen bestaan (o.a. voor stoffen als Cd en Pb), daaraan voldoen.
2. Moestuinen moeten geschikt zijn om – deels – ook als *recreatieterrein* te dienen. Uiteraard geldt dit voor de tuinders die de grond veilig moeten kunnen bewerken, maar ook geldt dit met name voor spelende kinderen, die op de grond in de tuinen moeten kunnen spelen zonder gezondheidsrisico's te lopen. Dit betreft vooral de gehalten aan stoffen in de grond die bepalend zijn voor de inname van dergelijke stoffen via gronddeeltjes (door kinderen).
3. Tot slot is het ook gewenst dat de grond fysisch, chemisch en biologisch voldoende geschikt is om gewassen te telen, waarbij het woord 'voldoende' zeer afhangt van de eisen die de gebruiker eraan stelt. En dat bij voorkeur met een minimaal gebruik van kunstmest en bestrijdingsmiddelen. Dat wil zeggen dat de bodem voldoende nutriënten en water moet kunnen leveren en verend is tegen ziekten, plagen en droogte. Daarbij zijn de eisen uiteraard minder strikt in die zin dat maximalisatie van de oogst over het algemeen geen doel als zodanig is.

Voor functies 1 (voedselveiligheid) en 2 (recreatie) geldt dat de beoordeling van de kwaliteit vooral gekoppeld is aan gehalten aan contaminanten in combinatie met een aantal bodemfactoren die de beschikbaarheid bepalen voor opname door planten of opname door de mens, vooral in geval van spelende kinderen. Bij het opstellen van indicatoren (zie paragraaf 3.5 en Tabel 1) zijn deze functies daarom samengevoegd om tot één voorstel voor een set van indicatoren te komen (*Voedselveiligheid & gezondheid kinderen*). Voor de productiefunctie (hier prioriteit 3) geldt juist dat er onderscheid gemaakt kan worden in het landbouwkundig optimaal functioneren (*Productie en Bodemgezondheid* in Tabel 1) in relatie tot de bodemgezondheid versus een beoordeling van de bodemconditie in zijn algemeenheid (*Algemene bodemconditie*).

Daar waar voor de beoordeling van productie de nadruk ligt op het kwantificeren van de bodemvruchtbaarheid (en er dus een grote overlap is met de keuze van indicatoren voor landbouw), spelen bodembioologische aspecten bij de beoordeling van de algemene bodemconditie ook een grotere rol. Het lijkt voor de hand liggend dat een goed functionerende bodembioologische component bijdraagt aan het goed functioneren van de bodem als geheel. Op dit moment is de beschikbare informatie over de mate waarin in dat geval bodembioologische parameters sturend zijn voor productie nog beperkt en zijn deze daarom vooralsnog bij de functie *Productie en Bodemgezondheid* slechts als 'optioneel' meegenomen.

Deze algemeen geldende voorwaarden leiden ertoe dat bij de keuze van de indicatoren een belangrijkere rol is weggelegd voor chemische bodemkwaliteitsaspecten die inzicht bieden in de mate waarin stoffen beschikbaar zijn voor opname door gewassen. Daarnaast zijn ook die aspecten van belang die bepalen in welke mate stoffen in grond zelf opgenomen kunnen worden door kinderen die in contact komen met de grond. Bodemchemische, -fysische en -biologische indicatoren die in geval van de BLN bepalend zijn voor het behalen van een optimale opbrengst, spelen in moestuinen een minder grote rol. Niet alleen omdat de mate waarin de tuinder deze eigenschappen stuurt anders is dan een agrarische teler, maar ook omdat sommige bodemaspecten juist door het vaak veel intensievere gebruik van de tuin niet of minder relevant zijn. Dat laatste geldt zeker voor de bodemfysische aspecten.

Door het zeer intensieve tuinonderhoud (spitten, onkruid wieden, schoffelen) voor, gedurende en na het teeltseizoen zijn aspecten gerelateerd aan structuur, dichtheid en aggregaatstabiliteit mogelijk minder relevant voor de gebruiker van een moestuin – in ieder geval tot de maximale bewerkingsdiepte. Wellicht dat de begaanbaarheid van de bodem nog wel een rol kan spelen. Hierbij zijn dan slempgevoeligheid en infiltratiesnelheid nog enigszins van belang. Immers, een hobbytuinier wil niet graag in de modder en/of in plassen staan te werken. Uiteraard blijft zowel organische stof en, daaraan gerelateerd, structuur bepalend voor o.a. het waterhoudend vermogen en infiltratie, die zeker van invloed zijn op de gewasgroei. Gemiddeld gezien kan worden gesteld dat voor moestuinen geldt dat aanvoer van organische stof (m.n. via compost of stalmest) hoog tot zeer hoog is.

De sturende invloed die een tuinder heeft op bodemstructuur is veelal beperkt; voor zandgronden is dit niet relevant en in zwaardere kleigronden wordt de grond in de meeste gevallen intensief bewerkt om zodoende mogelijke problemen met infiltratie te beperken. In het algemeen geldt voor moestuinen dat zowel het 'chemische' als fysische beheer, dat wil zeggen het bemesten, grondbewerking en watergeven, zeer intensief is. Uiteraard varieert het gebruik van mest van tuinder tot tuinder en daar waar de ene tuinder jaarlijks dierlijke mest aanwendt (vaak stalmest van een nabijgelegen boerderij), gebruikt de ander kunstmest of teelt zijn gewassen zelfs in aangevoerde potgrond als vervanging van de bodem.

Ook de eisen ten aanzien van bodemvruchtbaarheid die voor de reguliere teelt cruciaal zijn (beschikbaarheid van nutriënten), spelen in moestuinen veel minder een rol. Dat komt vooral omdat in de meeste tuinen zeer ruim bemest wordt zonder daar specifiek op te sturen, o.a. door gebruik van vaste mest of compost in het voorjaar, al dan niet aangevuld met het gebruik van kunstmest later in het groeiseizoen. Ook hier geldt dat de mate van en vormen van bemesting zeer sterk variëren, niet in de laatste plaats afhankelijk van de visie van de tuinders op bodemgebruik (al dan niet biologisch). Dat maakt een eenduidige aanbeveling van wat minimale eisen zijn ten aanzien van bodemvruchtbaarheid veel minder relevant. In veel gevallen geldt zelfs dat de jaarlijkse aangewende hoeveelheden mest (nutriënten) veel hoger zijn dan aanbevolen voor reguliere landbouwteeltsystemen. Lokaal kan dit leiden tot emissies (uitspoeling of N-emissie naar de lucht) of een te sterke aanrijking met organische stof. Bij

veel tuinders overheerst vooralsnog het idee dat 'meer beter is'. In welke mate dat leidt tot lokale effecten op onder meer bodemleven, uitspoeling of emissie naar lucht is onbekend. Wel kon in een dergelijk intensief beheerd systeem in Amsterdam al aangetoond worden dat binnen vier jaar na het toedienen van hoge hoeveelheden compost de hoeveelheden koper in de bodem gestegen waren, zonder dat dit overigens leidde tot negatieve effecten op gewas of bodemecologie. Ook hiervoor geldt dat de (gelijktijdige) stijging van het organischestofgehalte de effecten van een gestegen metaalgehalte in de bodem kan bufferen.

3.3 Bodemkwaliteit voor moestuinen

Zoals eerder benoemd, is de kwaliteit van de bodem een van de sturende parameters die bepaalt of een gewas veilig geteeld kan worden.¹ Karakteristiek voor de stadsbodem is dat deze niet (overal) schoon is. Intensief (her)gebruik van grond, vermengd met onder andere bouwpuin, industrieel afval, restanten van olietanks of stadsafval heeft ertoe geleid dat de concentraties aan verontreinigingen in de stadsbodem voor zowel zware metalen als organische microverontreinigingen zoals PAK's en minerale olie veelal hoger zijn dan die in de 'normale' landbouw- of natuurbodem buiten de stad (McBride et al., 2014). Daarnaast heeft met name uitstoot door verkeer en andere verbrandingssystemen geleid tot een diffuse belasting van de bodem met onder andere lood (noot: door de invoering van loodvrije benzine is deze belasting sterk gedaald).

Naast het feit dat er dus soms sterk verhoogde gehalten aan verontreinigingen in de bodem voorkomen, is een andere karakteristieke eigenschap van de stadsbodem dat deze zeer heterogeen is, dat wil zeggen sterk kan variëren op (zeer) korte afstand, e.e.a. afhankelijk van de historie van het landgebruik ter plekke (Delbecque en Verdoodt, 2015). Die variatie betreft niet alleen de mate van verontreiniging, maar ook de variatie in bodemeigenschappen zoals textuur, pH en organische stof. Dat maakt dat het beoordelen van de bodemkwaliteit voor stadslandbouw (moestuinen) een veel kleinschaliger aanpak vereist vergeleken met de beoordeling van landbouwpercelen.

Als voorbeeld van hoe omvang en vorm van stadslandbouwprojecten afhangen van het historisch gebruik kan bijv. de demotuin van de Stichting Urbaniahoeve (locatie Amsterdam) genoemd worden (Figuur 4). Daarbij is zowel de omringende infrastructuur, maar deels ook de bestaande (groene) infrastructuur (in dit geval de aanwezige bomen) sturend voor het toekomstig gebruik.

¹ Daarnaast speelt lokaal ook depositie vanuit de lucht een rol. Dit wordt hier verder niet meegenomen, omdat deze invloed niet te herleiden is tot een meetbare eigenschap van de bodem. Voor het beoordelen van stadslandbouwprojecten als zodanig geldt uiteraard dat luchtkwaliteit, o.a. in relatie tot verkeersdruk, relevant is om mee te nemen.



Figuur 5 Demotuin van de Stichting Urbaniahoeve te Amsterdam, aangelegd op het voormalige parkeerterrein van de brandweerkazerne (het oude IJsbrand aan de Berberisstraat)
(Foto: Paul Römken).

3.4 Keuze van indicatoren bij stadslandbouw: voedselveiligheid en risico's voor spelende kinderen als primaire factoren voor de beoordeling

Omdat de producten geteeld in moestuinen buiten elke vorm van controle door de overheid of ketencontrole in de voedselverwerking valt, is het belangrijk bij de keuze van indicatoren een aantal metingen op te nemen voor de te verwachten gewaskwaliteit. Een dergelijke aanpak veronderstelt daarmee dat we in staat zijn om op basis van een aantal bodemeigenschappen, inclusief bepaling van de contaminanten zelf, in staat zijn de productkwaliteit te berekenen. Voor een aantal contaminanten zoals zware metalen (o.a. cadmium, zink, koper, lood en nikkel) geldt dat dergelijke relaties inderdaad afgeleid zijn en als basis kunnen dienen om aan de hand van bodemmetingen een uitspraak te doen over de te verwachten geschiktheid van de grond als moestuin (Römken et al., 2007). Voor veel organische contaminanten, maar ook voor een aantal metalen (o.a. arseen, chroom en kwik) geldt echter dat de relatie tussen het gehalte in de bodem en die in de plant zeer matig tot afwezig zijn. Veelal zien we hier bij een toenemend gehalte in de bodem geen navenante respons in plantgehalten, wat erop wijst dat een groot aantal planten in staat is contaminanten actief buiten te sluiten of op te slaan in de wortel, maar niet in de bovengrondse delen (McBride et al., 2014). Daarnaast geldt ook dat de relatie tussen bodem en gewas sterk kan verschillen tussen gewassen of gewasgroepen. Zo nemen met name bladgroenten en gewassen als prei meer cadmium op uit de bodem dan bijvoorbeeld peulvruchten of fruit.

Voor moestuinen geldt echter ook dat andere blootstellingsroutes (naast consumptie van gewassen) belangrijk zijn, met name de inname van grond. Dat kan vooral voor spelende kinderen in belangrijke mate bijdragen aan de inname van stoffen als metalen en PAK's.

Wat belangrijk is, is dat de relatie tussen bodem- en gewaskwaliteit sterk afhankelijk is van bodemeigenschappen die de chemisch-biologische beschikbaarheid van contaminanten (met name metalen) bepalen. Dat wil zeggen dat het totaalgehalte in de bodem voor veel metalen niet de enige of belangrijkste factor is die de opname door een plant stuurt. De hoeveelheid metalen in een bodem die beschikbaar zijn voor de plant is veelal maar een fractie van het totaalgehalte. De grootte van die fractie wordt vooral bepaald door de pH, het organischestofgehalte en, in mindere mate, de textuur (kleigehalte).

Voor deze drie parameters geldt dat bij hogere gehalten aan organische stof, klei of bij een hogere pH, de opname van metalen als cadmium, zink en deels ook koper en lood afneemt. Dat komt omdat voor deze metalen de binding aan de bodem dan sterker wordt, waardoor de concentratie in het bodemvocht – en daarmee de biologische beschikbaarheid – afneemt.

De invloed van deze bodemparameters is niet altijd even sterk of eenduidig. Zo is de invloed van pH zeer groot in geval van cadmium en zink, maar veel minder in geval van koper en lood. Voor zink is de textuur dan weer belangrijker, terwijl het voor cadmium vooral organische stof is die bepaalt hoe beschikbaar cadmium in de bodem is.

Andere fysische en biologische indicatoren zijn minder belangrijk voor voedselkwaliteit. Uiteraard dient een bodem aan bepaalde minimumeisen te voldoen, maar deze zijn in geval van moestuin meestal niet beperkend gezien de intensieve manier van bewerken. Van de fysische bodemeigenschappen geldt daarbij vooral de bodemdichtheid als een mogelijk beperkende groeifactor, zeker als de bovengrond op een compacte, verdichte onderlaag is gelegd, zoals vaker gebeurt bij aanleg van tuinen in nieuwbouwwijken. Bepaling van de dichtheid of, wellicht praktischer, indringingsweerstand, kan een indicatie geven voor de mate waarin een bodemlaag geschikt is voor gewasgroei.

Waterbeschikbaarheid bij droge perioden en wateroverlast bij natte perioden kunnen gezien de huidige klimaatverandering echter in toenemende mate wel van belang zijn. Waterbeschikbaarheid is afhankelijk van het watervasthoudend vermogen van een bodem en wordt voornamelijk bepaald door de textuur, aggregatie en het organischestofgehalte, waarbij de laatste praktisch gezien de enige indicator is die door bewerking van de bodem kan toenemen.

Wateroverlast bij natte perioden of bij hevige regenbuien treedt op als het water 'niet weg kan'; de waterdoorlatendheid van de bodem is laag of er bevindt zich een slecht doorlatende laag dieper in het bodemprofiel. Een slecht doorlatende laag kan worden gedetecteerd door het meten van de indringingsweerstand over het bodemprofiel. Een slechte doorlatendheid van de bodem wordt gedetecteerd door middel van een waterdoorlatendheidsmeting, welke relevant is wanneer de *productie en bodemgezondheid* belangrijk zijn of wanneer er langdurige wateroverlast optreedt. Bij erg intensieve regenbuien kan het zijn dat de waterinfiltratiecapaciteit van de bodem wordt overschreden, waardoor er tijdelijk plasvorming optreedt. Als de waterdoorlatendheid voldoende is, zullen deze plassen binnen enkele uren tot een dag weer verdwenen zijn.

Voor de biologische indicatoren geldt dat er nog weinig kwantitatieve informatie beschikbaar is die laat zien dat de mate waarin bodemleven actief is (of de samenstelling daarvan) bepalend is voor de gewasgroei. Uiteraard zal een bodem met daarin een goed functionerend bodemecosysteem beter in staat zijn nutriënten beschikbaar te maken voor de planten die er groeien. Ook draagt een divers microbiel bodemecosysteem bij aan de biodiversiteit en stressbestendigheid/ziektewerendheid van de bodem in de stad. Het meten van de vaak complexe biologische parameters in geval van moestuinen zal echter niet doorslaggevend zijn voor het bepalen van de geschiktheid van de grond als moestuin. Anders dan voor landbouwgronden bestaan er voor de functie moestuinen geen referenties t.a.v. biodiversiteit, soortensamenstelling of specifieke activiteit op basis van bodem-microbiologische parameters. Het beoordelen van bodembioologische indicatoren in moestuinen als duiding voor een bepaalde kwaliteit is daarom vanuit de literatuur lastig. Uiteraard kunnen dergelijke meetresultaten wel afgezet worden tegen bestaande metingen in reguliere landbouwgronden en stadsparken (o.a. op basis van data in het Bodembioologische Indicator Netwerk (BoBi), Rutgers et al., 2007, 2014).

Als voorbeeld voor de complexiteit van de interactie tussen bijv. grondbewerking en biodiversiteit (en daarmee het interpreteren van indicatorscores) laat de studie van Tresch et al. (2018 a, b) zien dat ondanks de intensieve manier van grondbewerking die in veel moestuinen plaatsvindt, de aantallen wormen (dichtheid, in aantal per m²) hoger is dan in reguliere landbouwgronden die in de studie worden genoemd. De totale biomassa van de wormen in de stadstuinen was echter weer lager dan die in graslanden. Deze verschillen worden deels verklaard door voedselaanbod (hogere dichtheid wordt geassocieerd met hoger aanbod in bewerkte tuinen) en soorten die aanwezig zijn. Graslandwormen zijn daarbij vaak groter (biomassa) dan de wormen in de stadstuinen, waardoor de totale (worm)biomassa in grasland weer hoger is. Daarbij maken Tresch et al. (2018 a, b) overigens ook nog

gebruik van een uitgebreid aantal indicatoren (zie Bijlage 2), veel meer dan in de bestaande systemen, wat aantoont dat uitspraken op basis van een zeer beperkte set (aantallen wormen bijvoorbeeld) maar in beperkte mate uitsluitsel kan geven.

3.5 Selectie van indicatoren

Gezien de potentiële brede range aan bodemkwaliteitsaspecten in stadslandbouw waarvoor een set van indicatoren gebruikt gaat worden, geldt per definitie dat méér indicatoren altijd een beter beeld kunnen geven dan minder. In onderstaande tabel is een driedeling gemaakt met onderscheid naar de belangrijkste functies die bodem in een stadslandbouw/moestuin setting heeft, namelijk voedselveiligheid, productie en algemeen bodemconditie, waarbij met name de biologische aspecten belangrijk worden geacht. Het overzicht in Tabel 3 laat zien dat de meeste indicatoren niet voor alle functies even relevant zijn. Uiteraard vormt de combinatie van alle indicatoren hier genoemd een ideale set, maar het hangt van de specifieke situatie af of deze allemaal relevant zijn.

Daarbij maken we onderscheid tussen indicatoren die vereist zijn (aangeduid met 'Ja') dan wel geen duidelijke waarde hebben voor de specifieke functie ('Nee'). Sommige indicatoren kunnen in specifieke gevallen een rol spelen bij de beoordeling, in dat geval is dat aangeduid met 'optioneel'. Dan is kennis van de geschiedenis van een perceel van belang om te beoordelen of de bepaling nuttig is.

Tabel 3 Overzicht van indicatoren voor stadslandbouw met onderscheid naar een aantal relevante aspecten.

Categorie	Indicator	Hoofdaspect		
		Voedselveiligheid & gezondheid kinderen	Productie en bodemgezondheid	Algemene bodemconditie
Fysisch	Dichtheid	Nee	Ja	Optioneel
	Indringingsweerstand	Nee	Ja	Optioneel
	Watervasthoudend vermogen	Nee	Ja	Ja
	Doorlatendheid	Nee	Ja	Optioneel
Chemisch	Gehalten aan contaminanten (totaal – reactief – beschikbaar ¹)	Ja	Optioneel (afhankelijk van historie terrein)	Optioneel (afhankelijk van historie terrein)
	pH	Ja	Ja	Ja
	Organische stof	Ja	Ja	Ja
	Textuur (% < 2µm)	Optioneel	Ja	Ja
	N-min	Optioneel	Ja	Nee
	N, P, K Nutriëntenstatus	Nee	Ja	Optioneel
	Micronutriënten	Nee (onder contaminanten)	Ja	Nee
Biologisch ²	Regenwormen aantallen en diversiteit	Nee ³	Optioneel	Ja
	Aaltjes diversiteit en aantallen	Nee	Optioneel	Ja
	Bacterie- en schimmelbiomassa	Nee	Optioneel	Ja
	Heet water extraheerbaar koolstof (HWC)	Nee	Nee	Ja
	Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN)	Nee	Optioneel	Ja

¹ Indien een dergelijk systeem voor de relevante contaminanten ontwikkeld is. Voor metalen en een deel van organische contaminanten, o.a. PAK, bestaat dit. Voor andere, veelal 'nieuwe' contaminanten (Nano deeltjes, medicijnen) niet.

² Afgeleid van: Indicatorset 1.0 voor landbouwgronden, BLN (Hanegraaf et al., 2019; gebaseerd op Van den Elsen et al., 2019 en De Haan et al., 2019).

³ De verwachting is dat de invloed van het in de volkstuintjes aanwezige bodemleven op de kwaliteit van voedsel m.b.t. contaminanten gering is. In saneringsprojecten worden wel organismen ingezet om verontreinigingen af te breken, echter dit is op een heel andere schaal.

⁴ Deze bepaling geeft een indicatie van het biologisch functioneren van de bodem.

Toelichting bij biologische indicatoren

- Potentieel mineraliseerbare N is beter te interpreteren dan bodemademhaling (*basal respiration*, bijv. in Tresch et al., 2018) en correleert redelijk met microbiële biomassa. Het is een maat voor gemakkelijk afbreekbare organische stikstof die tijdens het groeiseizoen door mineralisatie beschikbaar kan komen voor het gewas.
- Regenwormen zijn belangrijk en gemakkelijk te begrijpen voor stakeholders. Wormen worden ook wel meegenomen als iets wat de grondgebruiker zelf kan doen. Concreet betekent dat een representatief blok uitsteken, wormen uitzoeken, determineren en tellen met een herkenningsskaart. De pendelaars (*anecic earthworms*) zitten er dan niet bij. Dat is tevens een vorm van educatie, bewustwording en participatie.

In de literatuur zijn verschillende voorbeelden van indicatorsets voor *urban soils* gepresenteerd. Recent zijn onder meer de studies van Tresch et al. (2018a, b), die daarbij onderscheid maakt naar de bodemkwaliteit in relatie tot management (Tresch et al., 2018a) alsook een meer generieke beschrijving van een indicatorset geeft voor de kwaliteit van de bodem als zodanig (Tresch et al., 2018b). Een samenvatting van de in deze studies gebruikte indicatoren staat in Bijlage 2. Daarbij valt op dat beide sets van indicatoren vooralsnog vooral een relatieve beoordeling geven. Deels wordt daarbij de score van een meting uitgedrukt t.o.v. het gemiddelde van alle metingen (Tresch, 2018b) of worden relaties gelegd tussen scores en bepaalde, al dan niet uitgevoerde activiteiten (bijv. gebruik van compost, soort van tuin, intensiteit van gebruik). Daarbij ligt dus minder de nadruk op het verkrijgen van een absolute score in relatie tot een bepaalde functie, zoals het borgen van de menselijke gezondheid.

Een ander voorbeeld is de set van indicatoren gebruikt door Igalavithana et al. (2017), die de relatie leggen tussen de invloed van landgebruik (organische mest versus kunstmest) en het microbiologisch functioneren. Deze studies geven aan dat de onderliggende vraag die gesteld wordt sturend is voor de keuze van indicatoren. Dat illustreert ook dat er niet één goede bodemkwaliteit is, maar dat kwaliteit altijd gekoppeld is aan een bepaalde vraag of doel, die de keuze van indicatoren kan beïnvloeden. Dit sluit daarmee aan op de aanpak zoals eerder geschetst in Figuur 2.

4 Indicatoren voor het meten van bodemkwaliteit in stedelijk groen

4.1 Specifieke aspecten van Stadsparken

Een indicatorlijst voor stedelijk groen wordt ontwikkeld om een uitspraak te kunnen doen over de bodemkwaliteit van stadsparken en groenstroken m.b.t. hun functie binnen de stad. Stadsgroen, een verzamelnaam voor zowel stadsparken en groenstroken, vervult meerdere functies binnen de stad, maar moet onder vaak afwijkende omstandigheden gedijen, vergeleken met groen in de 'vrije' natuur buiten de stad. Over het algemeen kan gesteld worden dat de combinatie van type ondergrond met zijn gebruiksgeschiedenis en beheer een specifieke situatie oplevert met zijn eigen, specifieke karakteristiek en daaraan gerelateerde problemen. Zo heeft de veen- en kleibodem onder de stad Amsterdam (sinds het jaar 1300 stadsrechten) mogelijk al veel bestemmingen gehad, wat de bodemsamenstelling lokaal sterk heeft beïnvloed.

Naast afwijkende condities (bodem/klimaat) van stadsgroen ten opzichte van 'natuur'-groen buiten de stad kan er ook sprake zijn van een groot verschil in gebruiksdruk van stadsgroen. Waar vroeger het stadspark voornamelijk was bedoeld als groen recreatiegebied, worden er tegenwoordig steeds meer activiteiten (bijv. festivals en andere evenementen, Figuur 6) georganiseerd, wat zorgt voor een grotere bodembelasting.



Figuur 6 Een evenement in het Vondelpark (Bron: het Parool).

Het vroegere grondgebruik van de bodem onder stadsparken kan divers zijn, wat het noodzakelijk kan maken ook op zoek te gaan naar verontreinigingen. Het Vondelpark in Amsterdam heeft een achtergrond van moeras en weiland (<https://www.amsterdam.nl/toerisme-vrije-tijd/parken/vondelpark/geschiedenis/>), om enkele voorbeelden te noemen: de locatie van het huidige Oosterpark was de vroegere locatie van de oosterbegraafplaats, terwijl het Rembrandtpark voor de aanleg een tuinbouwgebied is geweest.

De oorsprong van het Stadspark van Almere (Figuur 7), ook een stad binnen de Amsterdam metropool, is een heel andere; de ondergrond van dit gebied bestaat geheel uit zeelei waar een zgn. leeflaag van 1 m 'spuitzand' is opgebracht (Verzandvoort en van den Elsen, 2019).



Figuur 7 Het Beatrixpark in Almere, het oudste park in de stad (Bron: www.parkeninalmere.nl).

Deze voorbeelden laten zien dat stadsgroen binnen de Amsterdam Metropool zeer divers is wat betreft oorsprong en/of aanleg, gebruiksgeschiedenis, beheer, locatie en ligging. Dat maakt dat mogelijke bodemproblemen die kunnen optreden ook niet noodzakelijk dezelfde zijn, juist vanwege de locatie-specifieke kenmerken. Dat maakt dat het beoordelen van elk terrein begint bij het vaststellen van de historie, omdat juist die inzicht kan bieden in specifieke bodemkenmerken die mogelijk bepalend zijn voor de huidige en toekomstige kwaliteit en gebruik in geval van stadsgroen.

Naast specifieke eigenschappen van een gebied die deels van invloed zijn op de bodemkwaliteit, neemt ook de druk op stadsgroen in het algemeen toe. Daarbij spelen vooral lokale effecten van klimaatverandering, zoals het voorkomen van intensievere regenbuien maar ook langere droge en warme perioden en toename van de recreatieve druk, een belangrijke rol.

Recentelijk is door Verzandvoort et al. (2020) een compilatie gemaakt van een aantal aspecten met betrekking tot beheer en/of gewenste maatregelen (en/of het ontbreken van kennis daarvan) met betrekking tot stadsgroen. Dit is gedaan aan de hand van de respondenten uit de MRA-regio:

- De gevolgen van wateroverlast
- Het voorkomen van verdichting in relatie tot toegenomen drukte andersoortig gebruik van stadsgroen (evenementen en activiteiten buiten de paden)
- Beperkte infiltratie, waterberging en/of watervasthoudend vermogen
- Vragen m.b.t. bodemstructuur (indirect gerelateerd aan bodembiodiversiteit/bodembioologie?)
- Vragen naar de rol van bodembiodiversiteit en de betekenis daarvan voor stadsgroen
- Het voorkomen en de effecten van verontreiniging en/of verzilting
- De mogelijke gevolgen van verzuring (pH) in de bodem van stadsgroen
- De rol van organisch stof en vragen over hoe dit te verhogen
- Het vaststellen van een eventueel gebrek aan micronutriënten (met name Fe) in de bodem en de invloed daarvan op groei/ontwikkeling van stedelijk groen

Bij de selectie van indicatoren voor stadsgroen, beschreven in de volgende paragrafen, wordt met de behoefte van deze respondenten rekening gehouden (zie ook Verzandvoort et al., 2020).

4.2 Bodemeigenschappen die bepalend zijn voor de kwaliteit van stadsgroen

De functies die parken en de bodems onder de parken vervullen binnen de urbane setting worden steeds belangrijker, niet alleen vanwege de toegenomen behoefte van (stads)bewoners om in een groene omgeving te recreëren, maar ook vanwege de positieve invloed die stadsgroen heeft op het leefmilieu van mens en dier. Te denken valt daarbij onder meer aan het reguleren van temperatuur (vermindering van het zogenaamde 'hitte-eilandeffect') en het leveren van een positieve bijdrage aan de luchtkwaliteit zelf.

Tegelijkertijd veroorzaakt de toegenomen behoefte aan recreatie en de veranderingen in microklimaat in de stad druk op het goed functioneren van de bodem. Om dit te kunnen evalueren, is het dus essentieel de link te leggen tussen specifieke bodemeigenschappen en hun betekenis bij het reguleren van dergelijke functies.

Daartoe heeft Claesens (2014) een overzicht gemaakt van bodemgerelateerde aspecten die een rol spelen bij het leveren van die functies in het 'openbaar groen' (parken, groenstroken, moestuinen, volkstuinen). De bodemgerelateerde aspecten en bodemeigenschappen uit dit rapport worden in paragraaf 3.2.1 t/m 3.2.10 kort genoemd. De tekst is aangevuld met informatie uit andere bronnen, waarbij de bron steeds is vermeld. Voor een deel is hieruit ook de problematiek benoemd die het openbaar groen ondervindt ten gevolge van onder meer de veranderingen in het lokale klimaat in de stad en de mogelijke veranderingen in een toekomstig klimaat. Dit alles draagt bij aan de selectie van relevante indicatoren voor stadsgroen. Aanvullend op de genoemde paragrafen wordt nog een aantal bodemeigenschappen genoemd die zeker ook relevant zijn, maar die niet door Claesens zijn genoemd. Basis hiervoor is onder andere het rapport van Van den Elsen et al., (2019).

De bodem draagt bij aan het klimaatbestendig maken van de stad door bijvoorbeeld opname van water in tijden van extreme neerslag en het leveren van vocht voor beplanting tijdens droge zomers. In het stedelijk gebied is de bodem vaak grotendeels afgedekt door bebouwing en wegen. Hierdoor gaat de functie van wateropname en waterafvoer door de bodem voor een groot deel verloren. Een maatregel om het stedelijke gebied meer klimaatbestendig te maken, is dan ook de realisatie van (meer) openbaar groen en meer 'ont-tegelde' oppervlakken. Openbaar groen speelt bovendien een belangrijke rol in tijden van extreme droogte en hitte. Parken zorgen voor afkoeling, waardoor het zogenoemde hitte-eilandeffect in de stad wordt verkleind. Het hitte-eilandeffect in stedelijk gebied wordt veroorzaakt door de hogere absorptie van zonlicht door de aanwezige donkere materialen en de relatief lage windsnelheden en men verwacht dat het leidt tot een verhoogde sterfte onder ouderen.

4.2.1 Infiltratie, waterberging en watervasthoudend vermogen

Infiltratie en waterberging zijn zeer relevante eigenschappen voor openbaar groen in combinatie met klimaatverandering, omdat openbaar groen met name de plekken zijn waar de bodem rechtstreeks bloot is gesteld aan neervallend en afstromend regenwater, en dit regenwater snel tot overlast zorgt als de infiltratie en de waterberging te laag zijn. Met name omdat de laatste jaren steeds intensievere regenbuien voorkomen in Europa en dus ook in Nederland (IPCC, 2014).

Een goed watervasthoudend vermogen van een bodem zorgt in tijden van extreme neerslag dat water in het profiel wordt opgeslagen, wat dan in drogere perioden weer door het groen kan worden gebruikt. Het watervasthoudend vermogen van een bodem hangt onder andere af van de textuur van een bodem, de porositeit, het organischestofgehalte en de dichtheid. Om 'functionele grasvelden' kort na een extreme regenbui weer te kunnen gebruiken, suggereert Claessens dat een goede (natuurlijke of artificiële) drainage ook mogelijkheden biedt voor waterberging. Drainage voert echter water af (naar ondergrond of afvoersysteem) en zorgt dus wel voor gebruik kort na een extreme bui, maar levert geen bijdrage aan waterberging.

Samenvattend zijn voor een optimale waterhuishouding in stadsgroen dus belangrijk:

- a. Een voldoende grote *infiltratiecapaciteit* (K_{sat} , de hoeveelheid water die infiltreert in een bepaald tijdsbestek – met name t.b.v. afvoer van water);
- b. Een voldoende grote *waterberging* (het watervolume dat een bodem kan opslaan; dit is afhankelijk van de hoeveelheid ruimte tussen de bodemdeeltjes en de onderlinge verbindingen tussen die ruimtes (porositeit) – met name t.b.v. tijdelijke opslag (en afvoer) van water) – porositeit is omgekeerd evenredig met dichtheid en verdichting waardoor deze laatste ook belangrijk wordt;
- c. Het *watervasthoudend vermogen* van de bodem (het watervolume dat een bodemprofiel kan vasthouden zonder dat het doorstroomt naar diepere lagen, de sponswerking van de bodem, volume-inhoud tussen twee gedefinieerde energietoestanden in de bodem (om exact te zijn: tussen de drukhoogten $h=-100\text{cm}$ en $h=-16000\text{cm}$. De volume-inhoud water wordt gevonden door dit verschil te vermenigvuldigen met de dikte van de bodemlaag). De waarde van het watervasthoudend vermogen is met name relevant t.b.v. opslag van water in het bodemprofiel in droge periodes).

Omdat de waterhuishouding in de bodem van stadspark en groenstroken van primair belang is voor zowel een goed functionerend bodemecosysteem als voor de omringende infrastructuur en leefomgeving (bijvoorbeeld wateroverlast), zijn infiltratie, waterberging en watervasthoudend vermogen belangrijke indicatoren om te meten.

4.2.2 Draagkracht

Draagkracht bepaalt de stabiliteit van de bodem onder invloed van fysische belasting. Het is afhankelijk van de bodemsamenstelling, bodemstructuur en grondwaterstand (Koopmans et al., 2007). Hoe meer klei en veen de ondergrond bevat en hoe hoger de grondwaterstand, hoe slechter de draagkracht van dat gebied. In gebieden met alleen zand in de ondergrond is de draagkracht groter en voor veel toepassingen voldoende. Over het algemeen is draagkracht belangrijk bij bouwwerkzaamheden en minder een issue bij stadsparken, volkstuinen en groenstroken. Echter, bij stadsparken kan de draagkracht wel belangrijk zijn als deze worden gebruikt voor evenementen waar grotere hoeveelheden mensen op af komen (zie ook 'Waar beheerders van stadsparken tegenaan lopen').

Omdat de draagkracht naast de bodemsamenstelling en bodemstructuur voornamelijk volgend is naar de vochttoestand van het profiel, wordt deze gestuurd door andere bodemeigenschappen (met name vochtdoorlatendheid, watervasthoudend vermogen, dichtheid, indringingsweerstand) en om die reden niet meegenomen in de indicatorlijst.

4.2.3 Verdichting

Bodemverdichting is het compacter worden en vervormen van de bodem en ontstaat door bodembewerking of doordat de bodem belast wordt met gewicht, door bijvoorbeeld het gebruik van zware machines of door het betreden door publiek. Mechanische belasting onder natte omstandigheden versterkt verdichting nog eens extra. Door verdichting neemt de draagkracht toe, maar de bodemstructuur, het waterdoorlatende vermogen, het waterbergend vermogen, de bewortelingsmogelijkheid en de leefruimte voor de bodemfauna worden slechter (Koopmans et al., 2007). Ook de doorlatendheid voor zuurstof wordt slechter, wat een negatieve invloed op de begroeiing en het bodemleven heeft (Mullins, 1991). Tevens heeft verdichting van de bodem niet alleen effect op het waterbergend vermogen van de bodem, maar ook op de biodiversiteit (Moolenaar en Hanegraaf, 2007), waarbij met name de grotere organismen geen ruimte krijgen. Beperkt zuurstoftransport heeft als effect dat bepaalde bodemorganismen beginnen met het gebruiken van nitraat in plaats van zuurstof en er zal denitrificatie optreden. Bepaalde anaerobe bacteriën geven waterstofsulfide af (geur van rotte eieren, typisch voor moerassen). Dit gas is giftig voor veel planten, waardoor dit de bovengrondse biodiversiteit negatief kan beïnvloeden. Over het algemeen zal de ontbinding van organische stof langzamer zijn in verdichte bodems en zal er minder biologische activiteit optreden (Penn state, 2005).

Omdat verdichting een grote invloed heeft op het goed functioneren van het bodemecosysteem in stadsparken en groenstroken, is het een belangrijke indicator om mee te nemen in de beoordeling van de bodemkwaliteit.

4.2.4 Textuur

De textuur en het bodemtype zijn sterk gecorreleerd. De meeste indicatoren die hierboven zijn beschreven, zijn (sterk) bodemtype afhankelijk. Textuur is vaak nodig om later een beoordeling afhankelijk van de grondsoort te kunnen geven. Ook is de textuur van grote invloed op een aantal relevante bodemeigenschappen, zoals vastlegging van nutriënten en water. Net als voor zuurgraad en verontreinigingen geldt ook dat de textuur in de stadsbodem sterk variabel is, afhankelijk van het opgebrachte materiaal, het moedermateriaal van de oorspronkelijke bodem zelf en de mate waarin de bodem is verstoord (vergraven) waardoor verschillende lagen gemengd zijn. Een eenduidige bepaling van de textuur is daarom niet altijd mogelijk. Voor die eigenschappen van de bodem (of functie) waar textuur bepalend is (o.a. waterbergend vermogen), is het daarom essentieel de mate van (ruimtelijke) variatie in textuur te kennen.

Om deze reden geldt de textuur als een essentiële indicator en dient die altijd (eenmalig) te worden bepaald, rekening houdend met de mogelijke grote variatie op korte afstand wat van grote invloed kan zijn op het goed functioneren van de stadsbodem.

4.2.5 Bodemvruchtbaarheid

Bodemvruchtbaarheid is de mate van voedselrijkdom en het vermogen om voedingsstoffen om te zetten, vast te houden of juist af te geven. Bodemvruchtbaarheid is een combinatie van bodemleven, bodemstructuur, organische stof en mineralen. Een vruchtbare bodem levert mogelijkheden voor de ontwikkeling van groene zones, zoals parken en tuinen. Vernatting van de bodem leidt tot een afname van de hoeveelheid zuurstof in de bodem. Doordat er minder zuurstof in de bodem beschikbaar is, nemen de stikstof- en koolstofmineralisatie af. Dit leidt tot een afname van de bodemvruchtbaarheid. Ook kan er meer stikstof verloren gaan door denitrificatie en kunnen sterke broeikasgassen (N_2O , CH_4) ontstaan.

In tijden van extreme hitte kan de hogere temperatuur leiden tot een hogere microbiologische activiteit. Hierdoor komen nutriënten sneller beschikbaar en neemt de bodemvruchtbaarheid toe. Echter, de keerzijde is dat hogere temperaturen leiden tot verdroging. Door verdroging neemt de aanvoer van organisch stof af, aangezien planten slechter groeien bij droogte. Uiteindelijk heeft temperatuurverhoging dus een negatief effect op de bodemvruchtbaarheid.

Beplanting heeft zowel nutriënten (N, P, K, Ca, Mg en S) nodig als micronutriënten (Fe, Mn, B, Cu, Zn, Cl). Daarom is het belangrijk dat deze in voldoende mate in de bodem aanwezig zijn en wel in die vorm waardoor ze door planten kunnen worden opgenomen (Pulford, 1991).

Een goede bodemvruchtbaarheid (aanwezigheid van essentiële nutriënten en micronutriënten) is dus belangrijk voor een bodemecosysteem dat in evenwicht is.

Een juiste balans van nutriënten en micronutriënten in de bodem is noodzakelijk voor het optimaal gedijen van stadsgroen. Het meten van de nutriëntenstatus kan worden overwogen als het stadsgroen het niet goed 'doet' en wel aan de basisvoorwaarden m.b.t. watergift, zuurstoftoevoer, beworteling, schone grond etc. is voldaan. Of als er andere aanwijzingen zijn dat de nutriëntenstatus tekortschiet.

4.2.6 Verzilting

Ophoping van oplosbare zouten (kalium, natrium, magnesium, calcium) in ondiepe of diepe bodems is het gevolg van verzilting. Als gevolg van verzilting nemen de grondwaterkwaliteit en de bodemvruchtbaarheid af. Verzilting kan ontstaan door overstromingen vanuit de zee met zoutwater. Maar ook kwel door opstuwend zeewater kan leiden tot verzilting, dit probleem is het prominentst in de Amsterdam metropool. Door hogere verdamping en grondwateronttrekkingen kan het verziltingsprobleem in warme zomers een prominentere rol gaan spelen. Door verzilting worden ecosystemen aangetast die niet bestand zijn tegen zout. Dit kan problemen geven in stadsparken en het groene gebied buiten de stad waar stedelingen kunnen recreëren.

Omdat uit de interviews van Verzandvoort (2019) naar voren is gekomen dat verzilting een reëel probleem is in zowel Amsterdam als Almere (en wellicht ook in andere laaggelegen delen van de Amsterdam Metropool), wordt aangeraden de elektrische geleidbaarheid (EC) op te nemen in de meetset van de SHI-U.

4.2.7 Verontreiniging

De stad, en dan vooral oudere steden, wordt gekenmerkt door langdurige, vaak wisselende economische activiteiten. Soms is daardoor bekend dat bepaalde plekken verontreinigd zijn door vroegere economische activiteit (bijvoorbeeld het gebied onder de vroegere Westergasfabriek in Amsterdam waar later de grond is gesaneerd). Kleinere verontreinigingen, zoals die gerelateerd aan in de bodem aanwezige olietanks, zijn niet altijd bekend. Veel stadsbodems worden gekenmerkt door verhoogde concentraties aan metalen (met name lood), olie, en PAK's (polycyclische aromatische koolwaterstoffen), ofschoon het type en de mate waarin deze stoffen in de bodem aanwezig zijn op zeer korte afstand sterk kunnen variëren. Bodemverontreinigingen kunnen een direct effect hebben op gewassen (bomen, struiken etc.) en op het bodemleven. Bovendien kunnen verontreinigingen ontregelend werken op het functioneren van het bodemecosysteem. Daarnaast worden met name spelende kinderen direct blootgesteld aan grond en kan dat in geval van verontreinigde bodems leiden tot een verhoogde inname via grond en/of stof. Anders dan in geval van moestuinen is er in de meeste stadsparken geen of zeer beperkt sprake van het aanleggen van specifieke voedselbossen. Dat maakt de kans dat verontreinigingen via die weg kunnen leiden tot blootstelling gering. Uiteraard dient, als een stadspark wel de functie van voedselbos heeft of krijgt, hier aandacht aan besteed te worden. In dat geval is er een link met de indicatoren zoals genoemd onder stadslandbouw.

Afhankelijk van de aard van de verontreiniging (chemisch gedrag) kan een deel van de genoemde stoffen ook uitspoelen naar het grondwater. Dit geldt niet zozeer voor de meeste metalen, maar deels wel voor organische contaminanten als PAK's. Als de lokale hydrologische omstandigheden mede door klimaatverandering in de toekomst leiden tot een verhoogde grondwaterspiegel, zal daardoor ook de mate van uitspoeling kunnen toenemen. Of, en zo ja in welke mate, oppervlakkige afspoeling van bodemdelen tot een belasting van het oppervlaktewater in het stedelijk gebied leidt, is nog onduidelijk, maar kan lokaal een punt van aandacht zijn. Met name in die delen van stadsparken die niet of deels begroeid zijn, waardoor de kans op erosie van bodemdelen aanmerkelijk zal toenemen.

Of bodemmetingen naar verontreinigende stoffen zinvol is, hangt af van de geschiedenis van de locatie (bijvoorbeeld eerder industrieel gebruik), eventueel zichtbare problemen met begroeiing en/of het specifiek aanleggen van voedselbossen. Het standaard opnemen van metingen naar verontreinigende stoffen heeft niet zoveel zin, dus wordt deze indicator optioneel gemaakt omdat hij wel relevant kan zijn.

4.2.8 Organische stof

Organische stof is een van de essentieelste bodemparameters zoals benoemd door onder meer Zwart et al. (2013). Een aantal relevante eigenschappen van organische stof:

- Het vormt de voedselbron voor alle bodemorganismen. Doordat er in de bodem geen licht doordringt, kunnen bodemorganismen geen gebruikmaken van zonlicht als energiebron. Daardoor zijn alle bodemorganismen afhankelijk van organisch materiaal voor hun energie- en voedselvoorziening.
- Organische stof speelt een zeer belangrijke rol in de bodemvruchtbaarheid. Onder meer doordat organische stof nutriënten levert die beschikbaar zijn voor gewassen. Zo levert organische stof een bijdrage aan de levering van stikstof, fosfaat en andere nutriënten. Die levering kan op twee manieren. In de eerste plaats doordat er nutriënten vrijkomen bij de afbraak van organische stof. In de tweede plaats doordat organische stof in staat is om nutriënten op een losse wijze vast te houden en uit te wisselen met het bodemvocht.
- Het speelt een rol bij de regulering van de vocht-, temperatuur- en luchthuishouding. Zo kan organische stof tot twintig keer zijn eigen gewicht aan water opnemen. Daardoor speelt organische stof een belangrijke rol in de vochthuishouding. Door de donkere kleur van organische stof kan een bodem sneller opwarmen. Bovendien is organische stof veelal poreus van structuur en draagt zo bij aan een betere luchthuishouding.
- Organische stof bevordert direct en indirect ook een goede bodemstructuur. Organische stof zorgt er namelijk voor dat minerale bodemdeeltjes aan elkaar gekit worden, waardoor stabiele bodemaggregaten kunnen ontstaan. Daarnaast zorgen de uitscheidingsproducten van bacteriën ook voor het kitten van bodemdeeltjes en bacteriën leven van organische stof in de bodem. Zeker voor gronden met weinig organische stof (< 2%) geldt dat een toename van organische stof leidt tot een toename van het aandeel aan stabiele bodemaggregaten, wat weer bijdraagt aan een betere bodemstructuur.

Over het algemeen kan dus gesteld worden dat de aanwezigheid van voldoende organische stof een belangrijke voorwaarde is in veel fysische, chemische en biologische processen in de bodem. Daarom is de aanwezigheid van organische stof in bodems van stadgroen om verschillende redenen belangrijk.

4.2.9 Zuurgraad – pH

De pH is een belangrijke graadmeter voor de vruchtbaarheid van de bodem. De pH beïnvloedt de vorm waarin nutriënten in de bodem aanwezig zijn en daarmee de beschikbaarheid ervan. De pH heeft niet alleen een groot effect op de chemische vorm van de verbindingen en hun omzettingen, maar ook op biologische processen. Deze laatste hebben een optimum, die vaak ligt tussen een pH van 6 en 7. Bij lage pH's wordt de opname van nutriënten door plantenwortels geremd (Handboek Bodem en Bemesting, 2019 -1). Voor bomen kunnen overigens andere waarden gelden.

De samenstelling en de activiteit van het bodemleven worden beïnvloed door de pH van de bodem. Bij een bodem met pH lager dan 5,5 overheersen schimmels, bij een neutrale en basische bodem zijn de bacteriën dominant. Structuur-bevorderende bodemorganismen als regenwormen en duizendpoten hebben een neutrale of basische leefomgeving nodig hebben, terwijl mijten en springstaarten ook goed kunnen overleven in zure gronden (Handboek Bodem en Bemesting, 2019 -2).

De zuurtegraad van een bodem in een stadspark of groenstrook zal over het algemeen afhangen van het moedermateriaal vóór aanleg, het opgebrachte materiaal, behandeling tijdens management en eventuele verontreinigingen. Daarbij komen relatief hoge pH-waarden van 7 en hoger vaak voor als gevolg van de aanwezigheid van onder meer bouwpuin met daarin resten van cement. Ook voor de pH in de stadsbodem geldt echter dat die sterk kan variëren op korte afstand en/of diepte in de bodem. De invloed van de pH bij diverse processen in het bodemecosysteem kan groot zijn, daarom wordt aanbevolen de pH als belangrijke indicator mee te meten.

4.2.10 Biodiversiteit boven- en ondergronds

Biodiversiteit is de verscheidenheid aan plantensoorten (bovengronds), diersoorten (bovengronds en ondergronds) en micro-organismen (ondergronds) en de aanwezigheid van unieke soorten. De biodiversiteit is een maat voor de 'gezondheid' van de bodem (Rutgers et al., 2007). De bodemkwaliteit in het stedelijk gebied is ook van belang voor de bovengrondse biodiversiteit. Diffuse bodemverontreiniging leidt tot een verlaagde bovengrondse biodiversiteit in steden, zoals in stadsparken, recreatiegebieden en stadstuinen. Ook vergraving, versnippering, verdichting, verharding en het gebruik van bestrijdingsmiddelen hebben effect op het bodemecosysteem.

Een grotere ondergrondse biodiversiteit zorgt over het algemeen voor een betere waterdoorlatendheid, omdat een divers bodemleven (voornamelijk wormen) ervoor zorgt dat er voldoende (macro)poriën beschikbaar zijn voor watertransport (Mullins, 1991). Een belangrijke taak van het bodemleven is nutriëntenomzetting uit plantenresten, waardoor deze nutriënten weer beschikbaar komen voor planten en bomen. Daarom is een divers bodemleven ook in stadsgroen belangrijk, terwijl een bovengrondse biodiversiteit ook een ondergrondse biodiversiteit stimuleert (Harris, 1991).

Extreme weersomstandigheden (bijvoorbeeld aanhoudende droogte of hitte) leiden over het algemeen tot een afname van de biodiversiteit (Claessens en Van der Wal, 2008). Bepaalde soorten kunnen die omstandigheden niet overleven. Dit speelt een rol bij zowel vernatting als verdroging. Bepaalde soorten kunnen slecht tegen vernatting, terwijl andere soorten moeilijk overleven in tijden van extreme droogte. Voldoende diversiteit binnen functionele groepen zorgt ervoor dat de veerkracht van het ecosysteem voldoende groot is om extreme weersomstandigheden te kunnen overleven. De bodem is een belangrijke basis als voedselbron voor stadsfauna en een belangrijke basis voor het ecosysteem van de stad.

De bodembiodiversiteit heeft invloed op de algehele bodemkwaliteit, echter een grote bodembiodiversiteit kan zich pas ontwikkelen en handhaven als aan bepaalde randvoorwaarden is voldaan, zoals voldoende voeding (voldoende organische stof), leefruimte (lage verdichting), zuurstof (lage verdichting, voldoende waterdoorlatendheid) en water (voldoende watervasthoudend vermogen).

4.3 De keuze van relevante indicatoren in relatie tot bodemeigenschappen en veelvoorkomende problemen in stadsgroen

Over het algemeen geldt dat alle bodemeigenschappen en bodemfuncties met elkaar samenhangen; de meeste fysische, chemische en biologische processen zijn afhankelijk van elkaar. Maar welke indicatoren zijn dan het belangrijkste binnen stadsparken en groenstroken van de Amsterdam metropool? Ofwel: welke indicatoren zijn kritisch en welke indicatoren (en gerelateerde processen) zijn volgend in deze specifieke omgeving? Met andere woorden: aan welke randvoorwaarden moet eerst worden voldaan voordat verstoorde processen weer op gang kunnen komen en het bodemecosysteem weer in evenwicht komt en 'naar behoren' functioneert?

In eerste instantie nemen we bij de selectie van relevante indicatoren de problemen in stadsparken en stadsgroen (die worden genoemd door een aantal respondenten in het onderzoek van Verzendvoort et al. (2019)) als leidraad; tegen deze problemen lopen mensen in beheer en beleid aan. In tweede instantie wordt de beschrijving van bodemeigenschappen binnen stadsparken zoals beschreven in paragraaf 2.3 meegenomen in de selectie van de uiteindelijke lijst indicatoren.

We hebben de lijst met relevantste indicatoren voor stadsparken en stadsgroen opgedeeld in twee categorieën, namelijk 'Conventioneel' en 'Problemen met hydrologie':

- De indicatoren in kolom 'Problemen met hydrologie' dienen te worden gebruikt bij parken en groenstroken die duidelijk last hebben van een relatief hoge grondwaterstand die langdurig of permanent optreedt (waarbij onder 'hoge waterstand' wordt verstaan een waterstand die begroeiing ernstig belemmert in de ontwikkeling. Doorgaans kan deze belemmering optreden bij een Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG) van 50 cm of hoger², afhankelijk van soort begroeiing en bodemtype.
 - Er kan sprake zijn van een permanent hoge grondwaterstand, door bijvoorbeeld een constant hoge natuurlijke grondwaterspiegel ter plaatse. Dit probleem kan verergeren als het park of groenstrook een lagere ligging t.o.v. de omgeving heeft, waardoor tijdens een regenbui water kan toestromen, of wanneer de doorlatendheid van de bovenlaag dusdanig slecht is dat regenwater niet kan wegstromen naar diepere grondlagen.
 - Een relatief hoge waterstand (of plasvorming op maaiveld) kan ook tijdelijk zijn, bijvoorbeeld na een zware regenbui. Als in dat geval de (natuurlijke) drainage voldoende is, kan het overtollige water snel infiltreren bij voldoende doorlatendheid en worden afgevoerd naar diepere grondwaterlagen of riolering. In dat geval, of als er helemaal geen wateroverlast optreedt, ook niet bij zwaardere regenbuien, kan gebruik worden gemaakt van de indicatoren in kolom 'Conventioneel' bij de beoordeling van de bodemkwaliteit.
- De indicatoren in de kolom 'Conventioneel' dienen te worden gebruikt in parken en groenstroken die geen last hebben van een situatie als hierboven besproken.

Tabel 4 vat de relevante indicatoren voor de twee hierboven genoemde situaties samen.

Tabel 4 Relevante bodemindicatoren voor stedelijk groen voor de conventionele context en in geval er problemen met de plaatselijke hydrologie zijn geconstateerd (zie paragraaf 4.3).

Categorie	Indicator	Conventioneel	Problemen met hydrologie
Fysisch	Textuur	Ja	Ja
	Droge bulkdichtheid	Ja	Ja
	Indringingsweerstand	Ja	Ja
	Watervasthoudend vermogen	Optioneel	Ja
	Infiltratiesnelheid	Optioneel	Ja
Chemisch	Gehalten aan contaminanten (totaal – reactief – beschikbaar)	Optioneel ³	Optioneel ³
	pH	Ja	Ja
	Organischestofgehalte	Ja	Ja
	Electrical Conductivity (EC)	Ja	Ja
	N, P, K Nutriëntenstatus	Ja	Ja
	Micronutriënten	Optioneel	Optioneel
Biologisch ¹	Heet water extraheerbaar koolstof (HWC) ²	Ja	Ja
	Potentieel mineraliseerbare stikstof (PMN) ²	Ja	Ja
	Regenwormen aantallen en diversiteit	Optioneel	Optioneel
	Bacteriële- en schimmelbiomassa	Optioneel	Optioneel

¹ Afgeleid van indicatorset 1.0 voor landbouwgronden (Hanegraaf et al., 2019; gebaseerd op Van den Elsen et al., 2019 en De Haan et al., 2020).

² Strikt genomen zijn dit chemische bepalingen, maar ze geven een indicatie van de biologisch activiteit in de bodem.

³ Indien de historie van het park/perceel daar aanleiding toe geeft.

In bovenstaande Tabel 2 zijn alleen de relevante indicatoren opgenomen zonder streefwaarden of referentiewaarden. In de BLN (Hanegraaf et al., 2019), die indicatoren geeft voor agrarische

² De Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG) is de waterstand beneden maaiveld en wordt bepaald in de natste periode van het jaar, typisch is dit de winter. Indicaties van de opbrengstderving ten gevolge van natschade door hoge waarden van de GHG kunnen worden berekend door de Waterwijzer Landbouwtol (Hack-ten Broeke et al., 2016), online beschikbaar via waterwijzerlandbouw.wur.nl/tool.html. De Waterwijzer Landbouwtol is een rekeninstrument voor het berekenen van nat- en droogteschade voor landbouwkundige toepassingen op landbouwgewassen. In de tool kan als gewas ook 'bomenteelt' worden geselecteerd. Omdat in stadsparken en groenstroken geen sprake is van commerciële teelt, wordt ervan uitgegaan dat natschade synoniem is met groeibeperking. De door Waterwijzer Landbouw berekende natschade hangt sterk af van het bodemtype en de ter plekke heersende Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG).

productie, zijn voor een *enkele* combinatie van bodemtype/landgebruik streefwaarden of referentiewaarden gegeven, maar lang niet voor alle denkbare combinaties. Deze informatie is simpelweg niet voorhanden.

Voor stadslandbouw kunnen, omdat deze functie rechtstreeks te maken heeft met gewassen die voor consumptie zijn bedoeld, enkele grenswaarden worden gegeven voor concentraties aan verontreinigende stoffen die van overheidswege met het oog op de volksgezondheid zijn opgesteld. Voor de streefwaarden of referentiewaarden van de resterende indicatoren zijn geen waarden bekend.

Voor stadsgroen zijn vanuit verschillende bronnen streefwaarden voorhanden. Voor indringingsweerstand worden de algemene grenzen van 1.5 en 3 MPa gehanteerd (Zwart et al., 2011) die ook in adviezen voor boomteelt in de praktijk te vinden zijn (<https://boomontzorging.com/onderzoeksapparatuur/penetrometer/>). Wat betreft groeibeperkingen ten gevolge van hoge waterstanden (hier is in de paragrafen 4.2.1 en 4.3 al het een en ander over geschreven) kan met behulp van de rekentool Waterwijzer landbouw worden berekend hoeveel natschade op zal treden bij bepaalde bodemtypen en waarden voor Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG) en Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG) waarden (Hack-ten Broeke et al., 2016, <http://waterwijzerlandbouw.wur.nl/>). De onlinerekentool is ontwikkeld voor de commerciële landbouw, waarvan de commerciële bomenteelt onderdeel is. De tool kan echter ook worden gebruikt voor het krijgen van een indicatie voor groeibeperkingen in andere situaties, bijvoorbeeld stadsparken of groenstroken.

In de praktijk zijn vanuit diverse bronnen vuistregels te vinden voor onder andere zuurstofopname en de hoeveelheid doorwortelbare grond die bomen nodig hebben om aan de vereiste hoeveelheid nutriënten te komen.

Over de invloed van verzilting op de groei van gewassen, en dus ook struiken en bomen, heeft L. Stuyt (2016) een uitvoerig literatuuronderzoek gedaan en aan de hand daarvan aanbevelingen gepubliceerd.

Wat betreft chemische abiotische indicatoren is vanuit de commerciële bomenteelt het een en ander bekend over streefwaarden voor nutriënten en bemesting. Deze zijn onder andere te vinden in publicaties van het Proefstation voor de boomkwekerij in Boskoop (Aendekerk, 2000), micronutriënten, pH en EC (Stuyt et al., 2016).

De kennis over en toepassing van biologische indicatoren zijn voor de commerciële landbouw de laatste jaren in volle ontwikkeling. Referentiewaarden zijn o.a. vastgesteld op basis van data in het Bodembioologische Indicator Netwerk (BoBi) (Rutgers et al., 2007; 2014).

5 Casestudie stadslandbouw: Fruittuin van West

5.1 Achtergrond

Op dit moment is de systematiek voor de beoordeling van moestuinen en stadsgroen zoals beschreven in hoofdstuk 2 en 3 nog in ontwikkeling. Met name het complete raamwerk voor de beoordeling van de indicatoren en/of de integratie daarvan moet nog verder uitgewerkt worden. Desalniettemin komen vragen met betrekking tot bodemkwaliteit, mogelijke beperkingen en hoe die aan te pakken in stadslandbouwprojecten veelvuldig voor. De belangrijkste reden daarvoor is vaak de bodemchemische kwaliteit van de bodem waarbij met name het voorkomen van contaminanten een knelpunt kan zijn. In veel gevallen voldoet het huidige systeem van bodemkwaliteitsnormen niet, omdat daarbij te weinig rekening gehouden wordt met bodemspecifieke eigenschappen die in hoge mate sturend zijn voor de risico's. Uiteraard geldt ook hier dat bestaande wetgeving in eerste instantie (generieke beoordeling) sturend is. In die gevallen waar de bodem voldoet aan bijvoorbeeld Maximale Waarden voor gebruik als moestuin zal er geen sprake zijn van onaanvaardbare risico's. Uiteraard kan het dan nog steeds zo zijn dat de grond niet optimaal functioneert voor het gewenste gebruik. Dit laat zien dat bodemkwaliteit, zeker ook voor stadslandbouw, een veel breder palet van eigenschappen vraagt (van de bodem) waarbij contaminanten maar één deel uitmaken. Juist daarom is een meer integrale beoordeling van bodemkwaliteit ook voor dit soort vormen van landgebruik belangrijk.

In geval van de Fruittuin van West, die hier als casestudie van de beschreven aanpak wordt besproken, volgen we daarom het schema van Figuur 2. Deze aanpak kent op hoofdlijnen vier fasen:

1. Inventariseren van vragen van gebruikers en kennis van de voorgeschiedenis van het terrein;
2. Opstellen van essentiële indicatoren die gemeten moeten worden plus een locatie-specifiek bemonsteringsplan;
3. Evaluatieresultaten van de bemonstering op deelfacetten (chemie, biologie, fysica) en daar waar mogelijk integratie van resultaten;
4. Oordeel over bodemkwaliteit m.b.t. gestelde vragen, eventueel voorstellen van maatregelen of, indien de resultaten daar aanleiding toe geven, bepalen van aanvullende indicatoren.

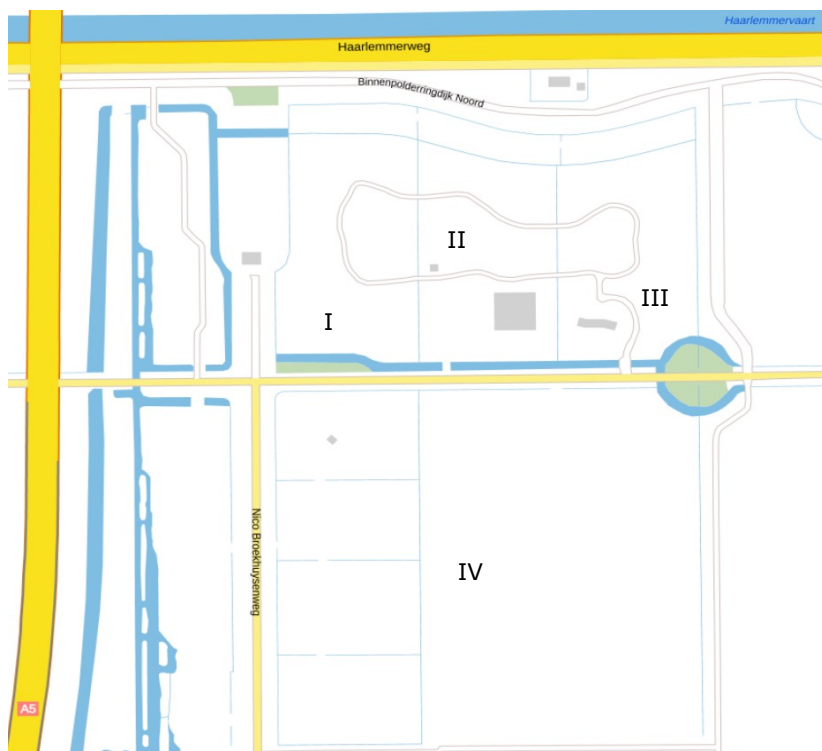
5.2 Locatie, specifieke vragen en plan van aanpak

In deze paragraaf wordt aan de hand van een praktijkvoorbeeld het gebruik gedemonstreerd van de indicatorlijst voor stadslandbouw. Ook wordt de algehele bodemkwaliteit geëvalueerd aan de hand van de schematische weergave uit Figuur 3.

De Fruittuin van West (<http://www.fruittuinenvanwest.nl>) is een fruitkwekerij aan de westkant van Amsterdam van ca. 16 ha, met diverse fruitgewassen en dieren, in bedrijf sinds 2014. De boomgaard is biologisch-dynamisch gecertificeerd en heeft het Demeter-keurmerk. Kippen zijn onderdeel van de bedrijfsvoering.

Fruitteelt wordt (deels) gedaan in combinatieteelt. Geschiedenis: in 1930 was de grond veengrond. Veen is afgegraven tot op de daaronder aanwezige kleilaag. Tussen 2010 en 2014 was op het land een gronddepot.

Het bedrijf bestaat op dit moment uit vier kavels, waarvan drie met fruitgewassen en één in gebruik als weiland en voor een deel als moestuin (IV, zie Figuur 8). De meeste gewassen worden geteeld in de lokaal aanwezige bodem, waarbij vooral in kavel II (in gebruik voor de teelt van bessen en aardbeien) veel compost wordt aangevoerd. Feitelijk groeien deze gewassen grotendeels in een mengsel van grond en compost. Een ander aspect van dit teeltsysteem is dat in alle kavels kippen rondlopen volgens een circulerend systeem (opeenvolgend door de kavels heen, zie ook Figuur 9).



Figuur 8 Ligging van Fruittuin van West en de vier kavels (Bron: PDOK Viewer (pdok.nl/viewer)).

Tijdens het veldbezoek is met de eigenaar een aantal vragen benoemd die centraal staan bij de verdere uitvoering:

1. Een deel van de tuinen, met name in kavel I en II, vertoont specifieke afwijkingen aan de gewassen (zie Figuur 10, onderste foto). Kan het zijn dat er sprake is van gebrek? En zo ja, wat is daar dan de reden voor?
2. Een deel van kavel III is (zeer) slecht ontwaterd, er staan regelmatig plassen aan het oppervlak. Wat is hiervan de reden?
3. Kavel IV, tegenover het fruittuingedeelte, is aangelegd op grond uit een depot. Op dit moment is onduidelijk wat de kwaliteit van deze bodem is. Een deel van kavel IV is in gebruik als moestuin en een deel als weiland. Kan dat of zijn er gebruiksbeperkingen nodig?

Naar aanleiding van deze vragen is aan de hand van de lay-out van het terrein een bemonsteringsplan gemaakt. Daarbij zijn de volgende bodemaspecten meegenomen:

- Mengmonsters voor de bepaling van landbouwkundige (chemische en biologische) bodemeigenschappen, evenals specifieke bodemchemische milieuparameters op kavels I, II en IV (0-25 cm -mv¹, 2 mengmonsters per kavel, 15 deelmonsters per mengmonster);
- Metingen van de indringingsweerstand op 6 locaties op kavels I-IV (0-80 cm -mv);
- Ringmonsters op de 6 locaties van meting indringingsweerstand in kavel IV voor bepaling veldvochtgehalte en droge bulkdichtheid (5-10 cm -mv). De ringmonsters werden gestoken binnen een afstand van 20-30 cm van de penetrologger-meetpunten.



Figuur 9 Locaties van bepalingen en monsternamen tijdens veldbezoek aan Fruittuin van West op 22-10-2019. Blauwe symbolen: locaties penetrologger-metingen. Oranje vlakken: zones waar mengmonsters (GM) genomen zijn.



Figuur 10 Enkele typerende kenmerken van het onderzochte bedrijf. Linksboven: matige ontwatering in kavel III, rechtsboven: roterend gebruik als foerageerplek voor pluimvee, links midden: bodem bestaande uit compost en klei, rechts midden: mengteelt in compost (aardbei en klein fruit), onder: symptomen van micronutriëntgebrek (kavel II)? (Foto's: Paul Römken).

5.3 Resultaten analyses: chemisch-fysisch-biologisch

Het bodemonderzoek aan de mengmonsters richtte zich op twee hoofdvragen:

1. Wat is de chemische bodemkwaliteit met het oog op mogelijke bodemverontreiniging?
2. Zijn er verschillen in de bodemkwaliteit met een focus op landbouwkundige aspecten (m.n. nutriënten en organische stof) en geeft dat inzicht in de mogelijke afwijkingen?

Voor de beantwoording van vraag 1 is in vier mengmonsters een aantal bodemparameters bepaald conform (wettelijk) standaard bodemonderzoek. Daarbij zijn de resultaten dus per kavel bepaald (één monster per kavel) waarbij monster 1 staat voor kavel I (GM1 + GM2), 2 voor kavel II (GM3 + GM4), 3 voor het tuindeel aangelegd aan de overkant van de weg (GM5 en GM6) en 4 het monster uit het weiland is (GM7 en GM8); zie Figuur 8 voor de ligging van deze monsterlocaties.

Voor vraag 2 zijn de acht mengmonsters (GM1 t/m GM8) geanalyseerd op een pakket van voornamelijk landbouwkundige bepalingen volgens de Bemestingswijzer compleet (inclusief sporenelementen; Eurofins Agro Wageningen).

5.3.1 Milieukundige aspecten: voedselveiligheid

De resultaten van de bodemchemische analyses met betrekking tot contaminanten in Tabel 5 tonen aan dat de grond schoon en onverdacht is, dat wil zeggen dat de gehalten voldoen aan de meest strikte eisen die aan grond gesteld worden indien deze als moestuin (her)gebruikt wordt (Maximale Waarden Moestuin, veel gewasconsumptie, Van Dirven-van Breemen et al. (2007)). Anders dan in de meeste stadsgronden zijn de gehalten aan metalen en organische contaminanten in de onderzochte kavels zelfs laag te noemen. In de meeste monsters liggende gehalten op of onder de achtergrondwaarden, wat betekent dat er geen aanwijzing is van aanrijking door menselijke activiteiten. Ook de gehalten aan metalen en organische contaminanten in de onderzochte (boven)grond van de moestuin en het weilanddepot in kavel IV zijn laag. Er is dus geen reden om het gebruik als weiland te beperken.

De zuurgraad (pH) van de bodem is laag (lees: *hoge* pH), met waarden variërend van 7.3 tot 7.8. Dit is het gevolg van de aanwezigheid van kalk (zie bodemkwaliteit landbouw); ook het organischestofgehalte is normaal tot hoog te noemen en varieert van 4% in het weilanddeel tot 8% in kavel II. Daarbij is er binnen kavel II ook nog een verschil tussen het bessendeel, dat met veel compost is behandeld, en het deel waar de fruitbomen staan (zie bespreking bodemkwaliteit landbouw).

Voor kavel IV, die deels als moestuin in gebruik is, betekent dit dat de bodemkwaliteit eveneens goed is en er geen maatregelen nodig zijn anders dan maatregelen gericht op het landbouwkundig gebruik (nutriënten, organische stof). Wel zien we in kavel IV (weiland) een licht verhoogd gehalte aan PAK (som PAK = 2.2 mg/kg•ds t.o.v. 0.35 – 0.74 mg/kg•ds) ten opzichte van kavel 1, 2 en 4 (moestuin). Dit duidt voor deze stoffen op een lichte aanrijking. De aangetroffen waarde ligt echter ruim beneden elke gebruiksnorm voor PAK en vormt geen risico voor grazend vee. Ter indicatie: de achtergrondwaarde voor som PAK is 1.5 mg kg⁻¹, terwijl de Landbouwadviswaarde 3.4 mg kg⁻¹ bedraagt.

De milieukundige bodemkwaliteit levert dus voor het hele perceel geen knelpunten of mogelijke gebruiksbeperkingen op.

Wel bleek tijdens het bezoek dat er erg veel water over de bodem of ondiep uit- en afspoelt (kavel IV, weilanddeel). Wellicht is de doorlatendheid van de bodem beperkt, waardoor een (groot) deel van het (regen)water oppervlakkig afspoelt.

Tabel 5 Samenvatting van de milieukundige aspecten van het bodemonderzoek.

Monsterlocatie					
	Eenheid	Kavel I appel/peer	Kavel II bes/appel	Kavel III moestuin	Kavel IV weiland
Droge stof	%	74.6	70.4	77.7	79.3
Organische stof	%	5.4	7.5	5.4	4
Gloeirest	%	93.5	91.4	93.9	95.3
Korrelgrootte < 2µm	%	15.7	15	10.5	9.7
Zuurgraad (pH-CaCl2)		7.3	7.4	7.4	7.8
Barium (Ba)	mg kg ⁻¹ ds	25	33	32	29
Cadmium (Cd)	mg kg ⁻¹ ds	<0.20	0.23	<0.20	<0.20
Kobalt (Co)	mg kg ⁻¹ ds	6.2	6	5.2	5.4
Koper (Cu)	mg kg ⁻¹ ds	7.5	11	9.6	8.8
Kwik (Hg)	mg kg ⁻¹ ds	<0.050	0.083	0.076	0.056
Molybdeen (Mo)	mg kg ⁻¹ ds	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5
Nikkel (Ni)	mg kg ⁻¹ ds	15	15	13	12
Lood (Pb)	mg kg ⁻¹ ds	14	22	21	18
Zink (Zn)	mg kg ⁻¹ ds	44	66	54	41
Minerale olie (C10-C12)	mg kg ⁻¹ ds	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0
Minerale olie (C12-C16)	mg kg ⁻¹ ds	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
Minerale olie (C16-C21)	mg kg ⁻¹ ds	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
Minerale olie (C21-C30)	mg kg ⁻¹ ds	<11	15	14	16
Minerale olie (C30-C35)	mg kg ⁻¹ ds	7.5	9.8	11	14
Minerale olie (C35-C40)	mg kg ⁻¹ ds	<6.0	<6.0	<6.0	<6.0
Minerale olie totaal (C10- C40)	mg kg ⁻¹ ds	<35	<35	35	<35
PCB 28	mg kg ⁻¹ ds	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
PCB 52	mg kg ⁻¹ ds	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
PCB 101	mg kg ⁻¹ ds	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
PCB 118	mg kg ⁻¹ ds	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
PCB 138	mg kg ⁻¹ ds	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
PCB 153	mg kg ⁻¹ ds	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
PCB 180	mg kg ⁻¹ ds	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010
PCB (som 7) (factor 0,7)	mg kg ⁻¹ ds	0.0049	0.0049	0.0049	0.0049
Naftaleen	mg kg ⁻¹ ds	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
Fenanthreen	mg kg ⁻¹ ds	<0.050	0.087	0.067	0.67
Anthraceen	mg kg ⁻¹ ds	<0.050	<0.050	<0.050	0.12
Fluorantheen	mg kg ⁻¹ ds	<0.050	0.16	0.15	0.48
Benzo(a)anthraceen	mg kg ⁻¹ ds	<0.050	0.095	0.099	0.22
Chryseen	mg kg ⁻¹ ds	<0.050	0.11	0.11	0.22
Benzo(k)fluorantheen	mg kg ⁻¹ ds	<0.050	<0.050	0.052	0.082
Benzo(a)pyreen	mg kg ⁻¹ ds	<0.050	0.075	0.086	0.17
Benzo(ghi)peryleen	mg kg ⁻¹ ds	<0.050	0.052	0.06	0.12
Indeno(123-cd)pyreen	mg kg ⁻¹ ds	<0.050	0.058	0.068	0.11
PAK VROM (10) (factor 0,7)	mg kg ⁻¹ ds	0.35	0.74	0.76	2.2

5.3.2 Landbouwkundige en bodembioologische aspecten: productie

De acht onderzochte monsters voor de landbouwkundige bodemkwaliteit laten een wisselend beeld zien overeenkomstig met het gebruik (samengevat in Tabel 5). Voor de beoordeling van alle individuele parameters verwijzen we naar de bijlage, waar per indicator een aanduiding van de kwaliteit is gegeven, variërend van 'zeer laag' tot 'zeer hoog'. Daarbij is steeds het landbouwkundig gebruik als maatstaf genomen.

Zonder alle individuele parameters te bespreken, valt een aantal zaken op:

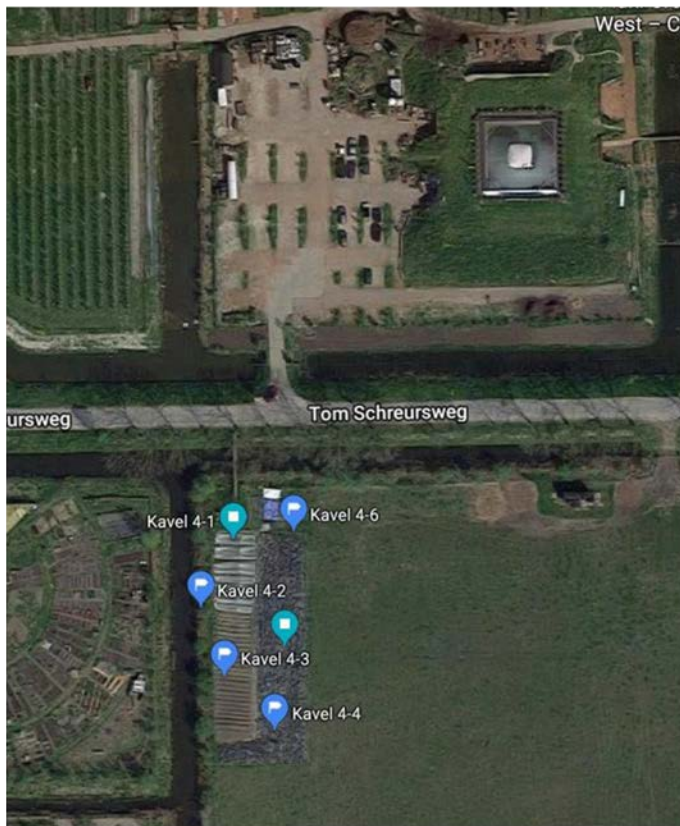
1. De gehalten aan *nutriënten* (met name N en P) in GM3 (bessen) zijn veel hoger dan in de overige onderzochte grondmonsters. Dit is een direct gevolg van het gebruik van (veel) compost. Feitelijk staan de bessen in een compost-grondmengsel, waarbij zeker in de bovengrond (0-25 cm) het aandeel compost dominant is. Dat vertaalt zich in (zeer) hoge beschikbare gehalten aan onder meer N, P en vrijwel alle andere nutriënten, evenals een duidelijk hoger organischestofgehalte. Voor P geldt zelfs dat de waarden voor P-Al en P-w extreem (hoog) te noemen zijn.
2. Voor een *aantal micronutriënten* (met name Fe, Zn, Mn en Cu) is de beschikbaarheid (landbouwkundig gezien) laag tot zeer laag en zijn de gevonden gehalten wellicht zelfs de beperkende factor gezien de voldoende tot hoge gehalten aan stoffen als N, P en K. Zelfs in GM3 is nog steeds sprake van lage absolute hoeveelheden aan micronutriënten. Dit is te wijten aan een combinatie van de relatief lage totale hoeveelheden en de hoge bodem-pH die maakt dat de meeste van deze elementen sterk gebonden zijn aan de vaste bodemfase. Gebruik van meer organische stof zal dit probleem ook niet oplossen, want nutriënten als Cu en Zn binden juist sterk aan organische stof. Wellicht kan bladbespuiting of het gebruik van chelaatvormen van deze micronutriënten helpen om de beschikbaarheid voor de plant te verhogen.
3. De gehalten aan *organische stof* zijn voldoende (kavel IV) tot hoog (GM 3) en voor de huidige kavels in gebruik als landbouwgrond voor fruit en bessen ruim voldoende. Gebruik van meer compost met als doel het organischestofgehalte verder te verhogen, is daarmee niet strikt noodzakelijk, anders dan om de huidige gehalten te handhaven.
4. De *biologische activiteit*, zoals uitgedrukt in microbiële biomassa, in kavel I, II en III, is hoger dan in kavel IV. Het gebruik van onder andere compost heeft duidelijk geleid tot een toename van de biologische activiteit in de bodem ten opzichte van die in het weilanddeel. Ook in de recentelijk aangelegde moestuin (GM 5 en 6) is de biologische activiteit lager dan in de kavels I, II en III. Wel zien we in GM 5 en 6 (moestuin) al een toename van het organischestofgehalte door het gebruik van met name compost.
5. Een van de wensen van de teler is het bereiken van een meer schimmel gedomineerd bodemleven. En ofschoon de aantallen schimmels bijvoorbeeld in GM 3 (bessen) duidelijk hoger zijn dan in de overige grondmonsters, is ook de bacteriële biomassa in GM 3 hoger. De schimmel/bacterieverhouding (biomassa) is mede daarom in GM 3 zelfs *lager* dan in de monsters uit het weilanddepot. Het stimuleren van specifieke bodemfloragroepen (zoals schimmels), meer dan bijvoorbeeld bacteriën door compost, lijkt daarom lastig te realiseren.

Tabel 6 Landbouwkundige bepalingen volgens Bemestingswijzer Compleet (Eurofins Agro).

	Kavel 1 peren	Kavel 1 appels	Kavel 2 bessen	Kavel 2 appels	Kavel 3 moestuין 1	Kavel 3 moestuין 2	Kavel 4 weiland 1	Kavel 4 weiland 2
Grondmonster (zie Figuur 2):	GM1	GM2	GM3	GM4	GM5	GM6	GM7	GM8
N-totaal mg N kg ⁻¹	2480	2210	5630	2300	1850	1580	1440	1120
S-plant mgS kg ⁻¹	8.4	8.9	27.8	58.6	10.6	20.9	503.1	143.1
S-totaal mg S kg ⁻¹	1150	1425	1850	1535	1195	830	1335	900
P-plant mg P kg ⁻¹	3.6	1.9	13.7	1.6	0.8	0.5	0.3	0.4
P-voorraad mg P ₂ O ₅ 100gr ⁻¹	69	49	125	54	46	29	24	27
K-plant mg K kg ⁻¹	199	171	326	154	84	60	39	46
K-voorraad mmol+ kg ⁻¹	9.9	9	12.4	7.3	6.3	4.7	5.9	5.5
Ca-plant Mmol L ⁻¹	2	0.8	1.9	1	1.1	1.6	8.2	4.1
Ca-bodem mmol+ kg ⁻¹	199	206	330	203	178	144	138	132
Mg-plant mg kg ⁻¹	141	109	268	87	80	71	86	73
Mg-bodem mmol+ kg ⁻¹	14.3	10.5	36	6.3	7.9	7.3	9.9	7.7
Na-plant mg Na/kg	19	13	125	15	20	16	20	12
Na-Bodem mmol+ kg ⁻¹	2.3	2	2.7	1.4	1	<1.1	1.1	<1.1
Si µg kg ⁻¹	52990	55500	57660	46060	42010	30140	31870	36770
Fe µg kg ⁻¹	2710	<2040	2080	<2030	2290	<2030	<2020	<2020
Zn µg kg ⁻¹	<100	<100	120	<100	<100	<100	<100	<100
Mn µg kg ⁻¹	270	<250	330	<250	<250	<250	490	410
Cu µg kg ⁻¹	23	<21	37	22	<21	<21	22	22
Co µg kg ⁻¹	<2.6	<2.6	<2.6	<2.6	<2.6	<2.6	3	<2.6
B µg kg ⁻¹	305	258	1043	336	260	182	285	218
Mo µg kg ⁻¹	12	11	23	23	14	14	18	15
Se µg kg ⁻¹	4	2.5	3.7	3.7	3	2.7	3.5	3.5
pH	6.9	7.2	7.2	7	7.2	7.2	7.2	7.4
C-org %	3.2	3.1	6.8	3	2.6	2	1.9	1.7
OS %	6.4	5.9	12.6	5.7	4.9	3.8	3.2	3.3
C-anorg %	1.07	1.51	0.75	1.39	1.12	1.11	0.89	0.93
kalk %	8.1	11.6	5.5	10.6	8.5	8.4	6.6	6.9
klei <2µm %	14	15	10	14	14	13	8	8
silt 2-50 µm %	23	33	21	26	24	15	17	23
zand >50 µm %	49	35	51	44	49	60	65	59
CEC mmol+ kg ⁻¹	210	214	371	199	189	156	139	133
Micr BM mgC kg ⁻¹	388	358	738	323	244	209	164	267
Micr Act mgN kg ⁻¹	60	68	139	53	61	56	30	42
Schimmel BM mgC kg ⁻¹	136	162	242	122	113	77	63	99
Bact BM mgC kg ⁻¹	208	179	313	154	115	80	60	102

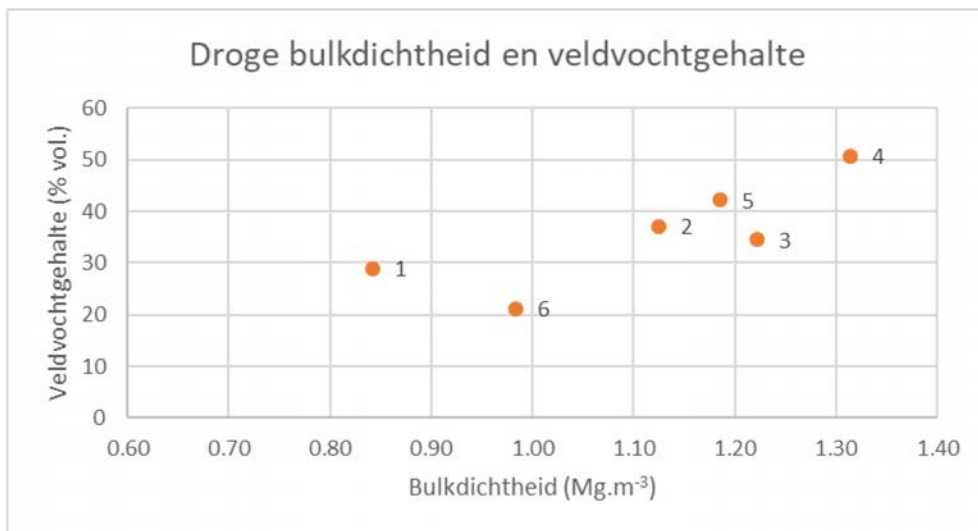
5.3.3 Bodemfysische Indicatoren: draagkracht en vernatting

De droge bulkdichtheid en het veldvochtgehalte zijn bepaald door meting aan zes ongestoorde ringmonsters, genomen op Kavel IV van de Fruittuin van West (Figuur 10). De textuur van de minerale bodem in de monsters op basis van het lutumgehalte is matig zware zavel (13-14% lutum, zie Tabel 5).



Figuur 11 Locaties van de ringmonsters en penetrologger-metingen op Kavel IV in de Fruittuin van West (Foto's: Google Maps).

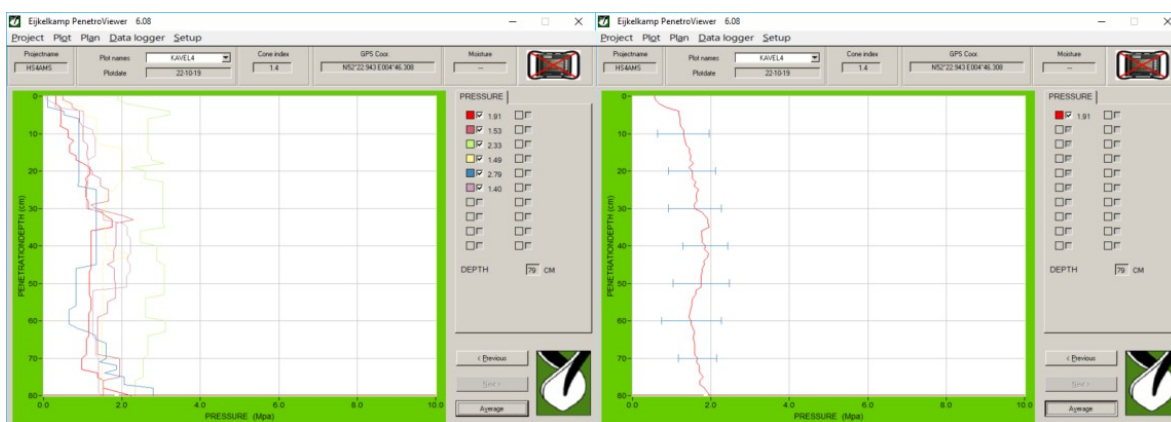
De ringmonsters hadden een volume van 100 cm^3 . De droge bulkdichtheid en het veldvochtgehalte werden bepaald met de gravimetrische methode. Hierbij werden de grondmonsters na weging gedurende 24 uur gedroogd bij een temperatuur van 105°C , en daarna opnieuw gewogen. De methode is beschreven in het standaard werkschrift van het bodemfysisch laboratorium van Wageningen Environmental Research. Het veldvochtgehalte van de monsters varieerde tussen 21% op locatie 6, helemaal voorin het terrein, en 51% achterin, op locatie 4. De droge bulkdichtheid varieerde tussen 0.84 Mg.m^{-3} (of g.cm^{-3}) op locatie 1 en 1.31 Mg.m^{-3} op locatie 4. Er lijkt een positief verband tussen de bulkdichtheid en het veldvochtgehalte: hoe dichter de grond, hoe groter het veldvochtgehalte (Figuur 11). Dit is te verklaren doordat bij een verdichte grond het aandeel aan kleine poriën groter is en hierin water beter wordt vastgehouden door capillaire krachten.



Figuur 12 Droge bulkdichtheid en veldvochtgehalte gemeten aan ringmonsters op Kavel IV.

Resultaten bepalingen indringingsweerstand Kavel I

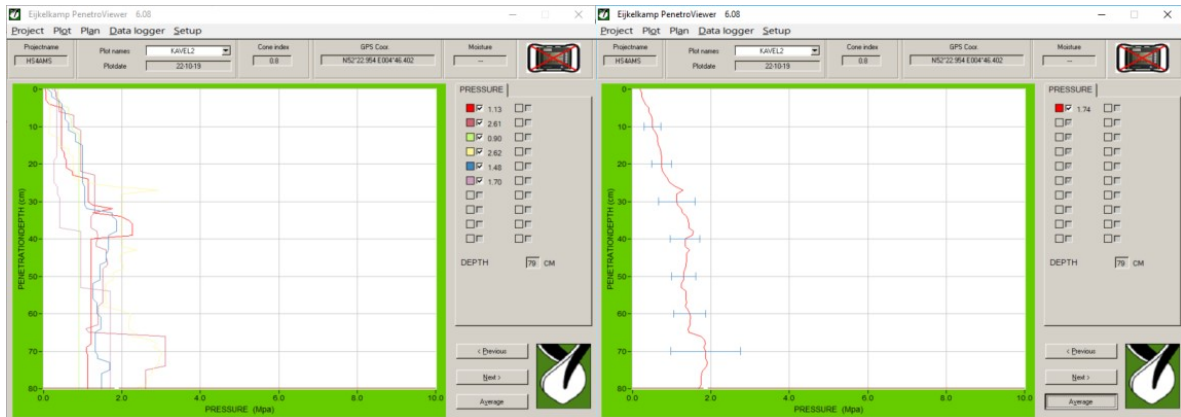
De indringingsweerstand in Kavel I neemt geleidelijk toe tot een diepte van 35 cm onder maaiveld. Weerstand voor wortelgroei treedt volgens de literatuur op bij waarden hoger dan 2 MPa. Deze worden bereikt tussen 30 en 50 cm onder maaiveld, maar het gemiddelde blijft onder 2 MPa in het gehele profiel tot 80 cm. Er is één meting die sterk afwijkt, met waarden voor de indringingsweerstand die vanaf het maaiveld tot aan 80 cm tussen 2 en 3 MPa liggen. Dat is meting 3, die gedaan is in het overdekt gedeelte van de boomgaard. De grond was daar erg droog en hard bij de meting. Dit kan de hoge waarden ten opzichte van de andere metingen verklaren.



Figuur 13 Indringingsweerstand tot 80 cm onder maaiveld in Kavel I. Links: metingen op zes punten binnen 1 m²; rechts: gemiddelde waarde en standaarddeviatie op diepte-intervallen van 10 cm. Resultaten bepalingen indringingsweerstand Kavel II.

Resultaten bepalingen indringingsweerstand Kavel II

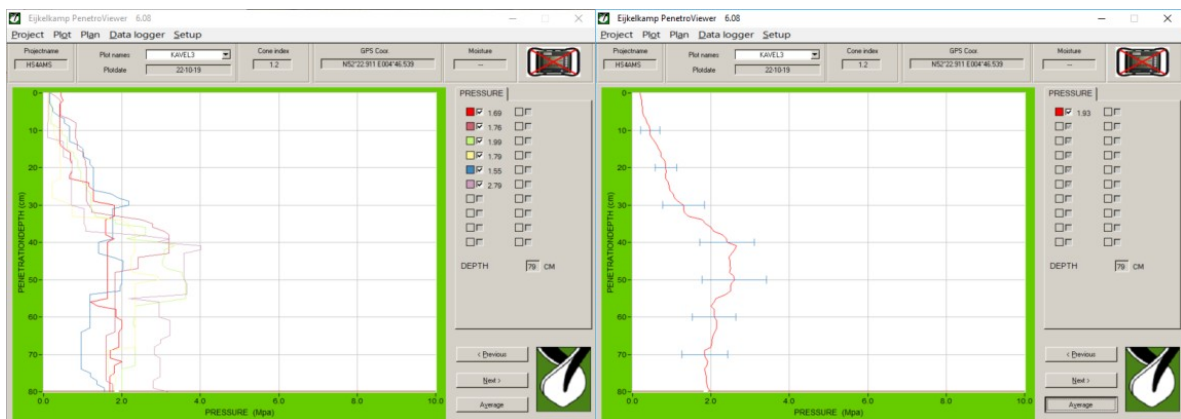
Op Kavel II zien we een geleidelijke toename van de indringingsweerstand met de diepte. Waarden hoger dan 2 MPa werden bereikt op dezelfde diepte als in kavel I, tussen 35 en 40 cm onder maaiveld, en beneden 65 cm in het profiel, maar de gemiddelde waarde kwam nergens boven 2 MPa uit. Op grond van deze waarnemingen verwachten we in deze kavel geen gestoorde wortelgroei als gevolg van een hoge indringingsweerstand.



Figuur 14 Indringingsweerstand tot 80 cm onder maaiveld in Kavel II. Boven: metingen op zes punten binnen 1 m²; onder: gemiddelde waarde en standaarddeviatie op diepte-intervallen van 10 cm.

Resultaten bepalingen indringingsweerstand Kavel III

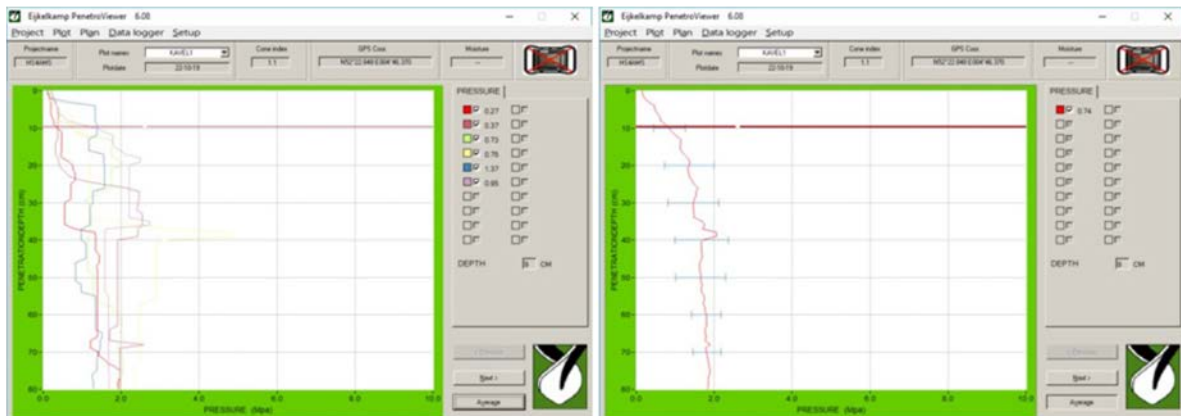
De indringingsweerstand in kavel III laat een abrupte toename zien beneden 30 cm onder maaiveld, met waarden tot 4 MPa. De spreiding van de waarden is groot beneden deze diepte, maar de gemiddelde waarde blijft tot 80 cm hoger dan of gelijk aan 2 MPa. Dit betekent dat wortelgroei belemmerd kan zijn door de verdichte bodemstructuur. Op het terrein troffen we drassige condities aan, en de kersbomen verkeerden in slechte staat. Dit kan te maken hebben met een slechte doorlatendheid van de bodem onder 30 cm diepte.



Figuur 15 Indringingsweerstand tot 80 cm onder maaiveld in Kavel III. Links: metingen op zes punten binnen 1 m²; rechts: gemiddelde waarde en standaarddeviatie op diepte-intervallen van 10 cm.

Resultaten bepalingen indringingsweerstand Kavel IV (moestuindeel)

Op Kavel IV varieert de indringingsweerstand tussen 0.1 en 2.7 MPa in de laag tot 35 cm onder het maaiveld. Daaronder is er minder variatie en is de indringingsweerstand gemiddeld tussen 1.7 en 1.9 MPa. Weerstand voor wortelgroei treedt volgens de literatuur op bij waarden hoger dan 2 MPa. Mogelijk is dit het geval in de laag op 35-40 cm onder maaiveld.

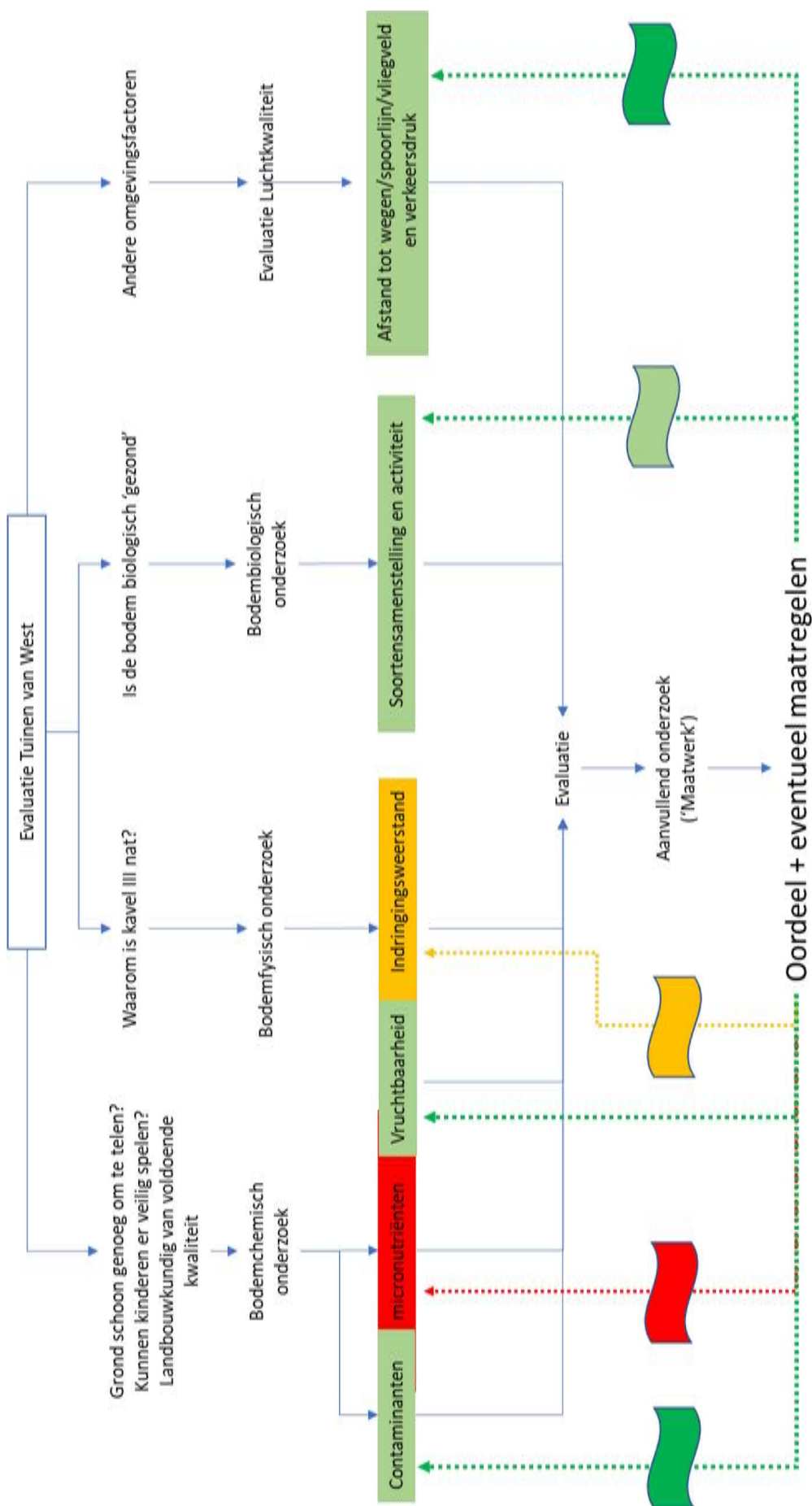


Figuur 16 Indringingsweerstand tot 80 cm onder maaiveld in Kavel IV. Links: metingen op zes punten binnen 1 m²; rechts: gemiddelde waarde en standaarddeviatie op diepte-intervallen van 10 cm.

Concluderend kunnen we stellen dat de profielen van de indringingsweerstand wijzen op een potentieel verdichte bodem in kavels III en IV onder een diepte van 30 cm beneden maaiveld. Dit zou voor diepwortelende gewassen als fruitbomen beperkingen kunnen geven in de wortelgroei, en het zou een verminderde doorlatendheid voor regenwater kunnen veroorzaken, met als gevolg dat (regen)water slecht weg kan. Dat laatste lijkt zichtbaar in kavel III, dat erg drassig was. In de andere kavels werd geen indringingsweerstand gemeten die beperkend kan zijn voor fruitbomen.

5.4 Integratie van resultaten en beoordeling bodemkwaliteit

Ofschoon de resultaten in paragraaf 4.3 nog niet volledig zijn, in die zin dat niet alle chemische, fysische en biologische indicatoren zijn gemeten, laat dit voorbeeld wel zien hoe meting van bodemindicatoren antwoord kan geven op de vragen van de gebruiker. Deze antwoorden zijn op hoofdlijnen samengevat in Figuur 17, die een invulling geeft van het concept zoals eerder is gepresenteerd.



Figuur 17 Evaluatie van de bodemkwaliteit binnen het bedrijf Fruittuin van West. (Kleuren van de vlag: donkergrond: goed, lichtgroen: voldoende tot goed, geel: aandachtspunt, mogelijk beperkende factor voor productie; rood: duidelijk beperkende factor voor groei en/of productie. De kleuren van de pijl zijn indicatief voor de noodzaak tot het nemen van maatregelen dan wel verdiepend onderzoek; groen: geen, geel: mogelijk, rood: aanbevolen/noodzakelijk). Noot: hierbij maken we gebruik van bestaande beoordelingsschema's voor verschillende indicatoren zoals indringingsweerstand en de minimaal landbouwkundige gewenste bodemsamenstelling.

6 Discussie en aanbevelingen

6.1 Discussie

Hoewel stadslandbouw en stadsgroen zich beide manifesteren binnen de grenzen van het Amsterdam Metropoolgebied, zijn het de vormen van landgebruik die qua invulling en doelstelling behoorlijk afwijkend zijn. Stadslandbouw richt zich op productie en recreatie, terwijl stadsgroen als belangrijkste doelstelling recreatie heeft, maar ook dient als gebieden met een klimaat-regulerende functie en steeds vaker als locatie voor evenementen dienstdoet. Omdat het landgebruik en de doelstellingen van elkaar afwijken, wijken ook de eisen die aan de bodemkwaliteit worden gesteld van elkaar af en verschillen ook de lijstjes met relevantste indicatoren voor het beoordelen van de bodemkwaliteit. Binnen de indicatorlijsten van de bodemgebruiksfuncties stadslandbouw en stadsgroen hebben we een verdere onderverdeling aangebracht om de bodemkwaliteit specifiek te kunnen beoordelen.

Zelfs aan de hand van de indicatorlijsten zal het in de praktijk nodig blijken om per case te beoordelen welke indicatoren zullen worden gebruikt. Een deskundige blik op elke afzonderlijke case blijft noodzakelijk, zeker als aan de hand van streefwaarden en referentiewaarden de bodemkwaliteit dient te worden beoordeeld en maatregelen moeten worden opgesteld om de plaatselijke bodemkwaliteit te verbeteren. Werken met de bodem in de metropool en in de stad blijft maatwerk. De beoordeling van de meetwaarden van de indicatoren en passende maatregelen die de bodem moeten verbeteren, zijn zaken die in dit rapport niet verder worden uitgewerkt, maar wel heel belangrijk zijn. Vanwege het belang hiervan komen deze zaken in de aanbevelingen terug.

6.2 Aanbevelingen

Dit rapport is een eerste aanzet tot een systematische benadering om de bodemkwaliteit voor twee belangrijke bodemgebruiksfuncties binnen de grenzen van het Amsterdam Metropoolgebied doelgericht te kunnen meten en verbeteren. Om deze systematische aanpak te verbeteren, zal er in de toekomst meer werk aan gedaan moeten worden. We willen daarom de volgende aanbevelingen doen:

1. Er moet meer praktijkervaring worden opgedaan met de systematiek die in dit rapport is beschreven; alleen aan de hand van de resultaten kunnen de systematiek en de lijsten met indicatoren worden verbeterd.
2. Er zou in de toekomst meer aandacht moeten worden besteed aan biologische indicatoren in het algemeen en specifiek voor de ecotopen stadslandbouw en stadsgroen. Ook het opstellen van streefwaarden en referentiewaarden voor biologische indicatoren in de metropool verdient aandacht.
3. Er moet worden gewerkt aan het verzamelen van streefwaarden of referentiewaarden voor de hier beschreven indicatoren in de stedelijke omgeving, zodat deze eenvoudig zijn te raadplegen.
4. Bouw een systeem waarmee het mogelijk wordt om door middel van een integrale beoordeling eenvoudig is te zien waar de tekortkomingen van een bodem liggen.
5. Een lijst met beheersmaatregelen om tekortkomingen van een bodem te kunnen opheffen, gedifferentieerd naar bodemgebruiksfunctie, is noodzakelijk voor daadwerkelijke implementatie van een integrale, systematische benadering. Aan een dergelijke lijst voor bodems in de metropool moet worden gewerkt, analoog aan lijsten met beheersmaatregelen die beschikbaar zijn voor landbouwgronden.

Literatuur

- Aendekerk, Th., G.L., redactie Marian de Beuze, eindredactie Fred Geers, 2000. Adviesbasis voor de bemesting van boomkwekerijgewassen: vollegrondsteelt. Proefstation voor de Boomkwekerij, Boskoop. ISBN 90-802469-9-9
- Boskoop, Boomteeltpraktijkonderzoek, 2000. Bakel, J. van, J. Huinink M., H. Prak, F. van der Bolt 2005. HELP 2005. STOWA Rapportnummer 2005-16 WATERNOODRAPPORT ISBN 90.5773.297.1. <http://help200x.alterra.nl/HELP2005.pdf>
- Benoist, F. (2006). KRW en drinkwater uit rijkswateren, gevolgen van de Kaderrichtlijn Water voor bescherming drinkwatervoorziening uit rijkswateren. DHV. In opdracht van Rijkswaterstaat/RIZA.
- Claessens, J. en A. van der Wal (2008). Verkenning effecten hoogwaterstanden op de bodemkwaliteit in het landelijk en stedelijk gebied, RIVM-briefrapport 607050003.
- Claessens, J.W. en E.M. Dirven, (2010). Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Klimaatverandering en het stedelijk gebied; de bodemfactor, 2010. RIVM-rapport 607050005/2010.
- De Gans, Wim (2011). De bodem onder Amsterdam. Een geologische stadswandeling. TNO Nederland. <https://repository.tudelft.nl/view/tno/uuid:f63bef32-f957-4162-a88d-ba0fc7b29ebb>. http://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgt/tip_190_de_bodem_onder_amsterdam_www_tno_nl.pdf
- Dekking, A. J. 2018. Stadslandbouw in Almere; De stand van zaken op 1 november 2017. Wageningen Research, Rapport WPR-752
- Delbecq, N., and A. Verdoodt, 2016. Spatial Patterns of Heavy Metal Contamination by Urbanization. J. Environ. Qual. 45:9-17 (2016)
- Dirven-Van Breemen, E.M., J.P.A. Lijzen, P.F. Otte, P.L.A. van Vlaardingen, J. Spijker, E.M.J. Verbruggen, F.A. Swartjes, J.E. Groenenberg, en M. Rutgers. 2007. Landelijke referentiewaarden ter onderbouwing van maximale waarden in het bodembeleid. RIVM rapport 711701053. RIVM Bilthoven
- Hack-ten Broeke, M. J. D., Kroes, J. G., Bartholomeus, R. P., van Dam, J. C., de Wit, A. J. W., Supit, I., Walvoort, D. J. J., van Bakel, P. J. T., and Ruijtenberg, R.: Quantification of the impact of hydrology on agricultural production as a result of too dry, too wet or too saline conditions, SOIL, 2, 391-402, <https://doi.org/10.5194/soil-2-391-2016>, 2016.
- Handboek Bodem en Bemesting – 1 / Effect pH op beworteling, opname, mineralisatie en beschikbaarheid nutriënten. Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegrondsgroententeelt (CBAV). <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/pH-en-bekalking/Effect-pH-op-beworteling-opname-mineralisatie-en-beschikbaarheid-nutrienten.htm>
- Handboek Bodem en Bemesting – 2 / Effect pH op bodemleven. Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegrondsgroententeelt (CBAV). <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/pH-en-bekalking/Effect-pH-op-bodemleven.htm>
- Hanegraaf, M.C., H.G.M. van den Elsen, J.J. de Haan & S.M. Visser (2019). Bodemkwaliteitsbeoordeling van landbouwgronden in Nederland – Indicatorset en systematiek, versie 1.0. Wageningen Research, Rapport WPR-795. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/498307>
- Harris, J.A. (1991) in: Soils in the urban environment – Bullock, P. and Peter J. Gregory (eds.) 1991 - Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. p.139. ISBN 0-632-02988-9.
- Igalavithana, A.D., S.S.Lee, N. K. Niazi, Y.H.Lee, K.H. Kim, J.H. Park, D.H. Moon and Y.S. Ok. 2017. Assessment of Soil Health in Urban Agriculture: Soil Enzymes and Microbial Properties. Sustainability 2017, 9, 310;
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Koopmans C., J. Bokhorst, C. Terberg en Nick van Eekeren (2007). Bodem signalen. Praktijkgids voor een vruchtbare bodem, Roodbont B.V., Louis Bolk Instituut.

- Lijzen JPA, Swartjes FA, Otte P, Willems WJ, 1999. BodemGebruiksWaarden; methodiek en uitwerking. RIVM rapport 71171016. RIVM, Bilthoven.
- McBride MB, Shayler HA, Spliethoff HM, Mitchell RG, Marquez-Bravo LG, Ferenz GS, Russell-Anelli JM, Casey L, Bachman S. 2014. Concentrations of lead, cadmium and barium in urban garden-grown vegetables: the impact of soil variables. *Environ Pollut.* 194:254-261.
- Moebius-Clune, B.N., D.J. Moebius-Clune, B.K. Gugino, O.J. Idowu, R.R. Schindelbeck, A.J. Ristow, H.M. van Es, J.E. Thies, H.A. Shayler, M.B. McBride, K.S.M Kurtz, D.W. Wolfe, and G.S. Abawi, 2016. Comprehensive Assessment of Soil Health – The Cornell Framework, Edition 3.2, Cornell University, Geneva, NY.
- Moolenaar, S.W. en M.C. Hanegraaf (2007). Bodembeheer bodembiodiversiteit. Waaier uitgebracht als onderdeel van het project Kans voor Klei, NMI.
- Mullins, C.E. (1991) in: *Soils in the urban environment* – Bullock, P. and Peter J. Gregory (eds.) 1991 – Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. p.111. ISBN 0-632-02988-9.
- OBI. 2019. <https://www.openbodeminindex.nl/>
- Penn State University, 2005. Effects of Soil Compaction. <https://extension.psu.edu/effects-of-soil-compaction>
- Römkens, P.F.A.M., J.E. Groenenberg, R.P.J.J. Rietra, J.E. Groenenberg, en W. de Vries, 2007. Onderbouwing LAC2006-waarden en overzicht van bodem-plant relaties ten behoeve van de Risicotoolbox; een overzicht van gebruikte data en toegepaste methoden. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1442.
- Rutgers, M.C. Mulder, A.J. Schouten, J. Bloem, J.J. Bogte, A.M. Breure, L. Brussaard, R.G.M. de Goede, J.H. Faber, G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, H. Keidel, G.W. Korthals, F.W. Smeding, C. ten Berg en N. van Eekeren (2007). Typering van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit. RIVM-rapport 607604008.
- Rutgers, M., T. Schouten, J. Bloem, E. Buis, W. Dimmers, N. van Eekeren, R.G.M. de Goede, G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, H. Keidel, G. Korthals, C. Mulder, E.J.W. Wattel-Koekkoek, (2014) Een indicatorsysteem voor ecosysteemdiensten van de bodem. Life support functions revisited. RIVM Rapport 2014-0145
- Stuyt, L.C.P.M., M. Blom-Zandstra, R. A. L. Kselik, 2016. Inventarisatie en analyse zouttolerantie van landbouwgewassen op basis van bestaande gegevens. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2739. 158 blz.; 20 fig.; 7 tab.; 125 ref.
- Tresch S, Moretti M, Le Bayon R-C, Mäder P, Zanetta A, Frey D, Stehle B, Kuhn A, Munyangabe A and Fliessbach A (2018a) Urban Soil Quality. Assessment—A Comprehensive Case Study Dataset of Urban Garden Soils. *Front. Environ. Sci.* 6:136.
- Tresch S, Moretti M, Le Bayon R-C, Mäder P, Zanetta A, Frey D and Fliessbach A (2018b) A Gardener's Influence on Urban Soil Quality. *Front. Environ. Sci.* 6:25.
- van den Elsen, E., Knotters, M., Heinen, M., Römkens, P., Bloem, J., & Korthals, G. (2019). Noodzakelijke indicatoren voor de beoordeling van de gezondheid van Nederlandse landbouwbodems: Selectie van fysische, chemische en biologische indicatoren voor het meten van de bodemgezondheid. (Wageningen Environmental Research rapport; No. 2944). Wageningen: Wageningen Environmental Research. <https://doi.org/10.18174/475874>
- Verzandvoort, S., D. Van Tol-Leenders, P.F.A.M. Römkens, G. Mol, E. van den Elsen, 2020. Bodeminformatie-behoefte voor de Metropoolregio Amsterdam; Bodeminformatie voor vraagstukken in en om de stad. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2982. 60 blz
- Zwart, K.B., A. Kikkert, A. Wolfs, A. Termorshuizen, G.J. van der Burgt (2013). Tien vragen en antwoorden over organische stof. HLB, Wijster, juni 2013. <https://edepot.wur.nl/272641>
- Zwart, K.B.; Akker, J.J.H. van den; Bussink, D.W.; Haas, M.J.O.M. de; Weide, R.Y. van der; Paauw, J.G.M.; Saathoff, W.; Goense, D.; Doornbos, A.J. (2011). Waterkwaliteit bij de wortel aangepakt. Alterra-rapport 2177). <https://edepot.wur.nl/168586>.

Bijlage 1 Functies van bodems in de stad

(bron: Verzandvoort et al., 2020)

Kernfunctie	Omschrijving	Specificatie voor MRA ³
1. Voedselproductie en drager voor groenvoorzieningen	Het laten groeien van vegetatie en eetbare gewassen in de stad	Voedselvoorziening in de regio Ruimte voor landbouwgrond Groengebieden voor leefkwaliteit in de regio, opvang fijnstof, bieden van ontspanning
2. Waterberging en -afvoer	Ruimte voor waterberging, waterbuffering (tijdelijke opslag van water) Infiltratie en afvoer van (regen)water	Lokaal opvangen van water met groen en in verharde delen van de openbare ruimte (bijv. waterpleinen, groene daken) Waterbergingslocaties voor water uit zware buien
3. Klimaatregulering	Tegengaan van hittestress voor mens en beplanting	Dempen van hogere temperaturen voor een prettig leefklimaat
4. Habitat voor biodiversiteit	Ruimte en geschikte drager voor biodiversiteit en voor ecologische verbindingzones tussen natuurgebieden	Voor de veenweidegebieden en binnenduinrand
5. Educatie	Publieksvoorlichting en onderwijs over het functioneren van de groene leefomgeving	Attractieve interactiemilieus voor start-ups, kenniswerkers en studenten Internethub voor datacenters (West-as)
6. Drager van gebouwen en infrastructuur	Drager voor bebouwing, wegen, spoorwegen, waterleidingen, kabels, rioleringen, funderingen, gebouwen, machines Ruimte en mogelijkheid om ondergronds of in taluds of andere ophogingen te bouwen	Infrastructuur en knooppunten voor goederen, mobiliteit, waterveiligheid (dijken) en recreatie (wandelen, fiets- en vaarnetwerken) Ov-knooppunten als toegangspoorten naar het landschap
7. Buffer voor vervuילende stoffen	Waterzuivering, opslag, filteren en omzetten van verontreinigingen Buffer tegen zout water van buiten boezemkades of vanuit de ondergrond (brak kwelwater)	Waterkwaliteit stimuleren Verzilting van landbouwgronden en stadswateren tegengaan
8. Archief van cultureel erfgoed	Conserverende werking voor ondergronds cultureel erfgoed en houten funderingen van rijksmonumenten Bescherming van archeologische resten	UNESCO-monumenten Kastelen, polder- en waterstaatsstructuren Nieuwe Hollandse Waterlinie Buitenplaatsen en landgoederen Industrieel erfgoed en lokale architectuur
9. Drager voor recreatielandschappen	Informatie en ruimte bieden voor recreatie en toerisme	Aantrekkelijk landschap bieden voor bewoners, bedrijven en recreanten Evenementen

³ Bron: Ruimtelijk-economische Actie-Agenda 2016-2020 voor de Metropool Regio Amsterdam.

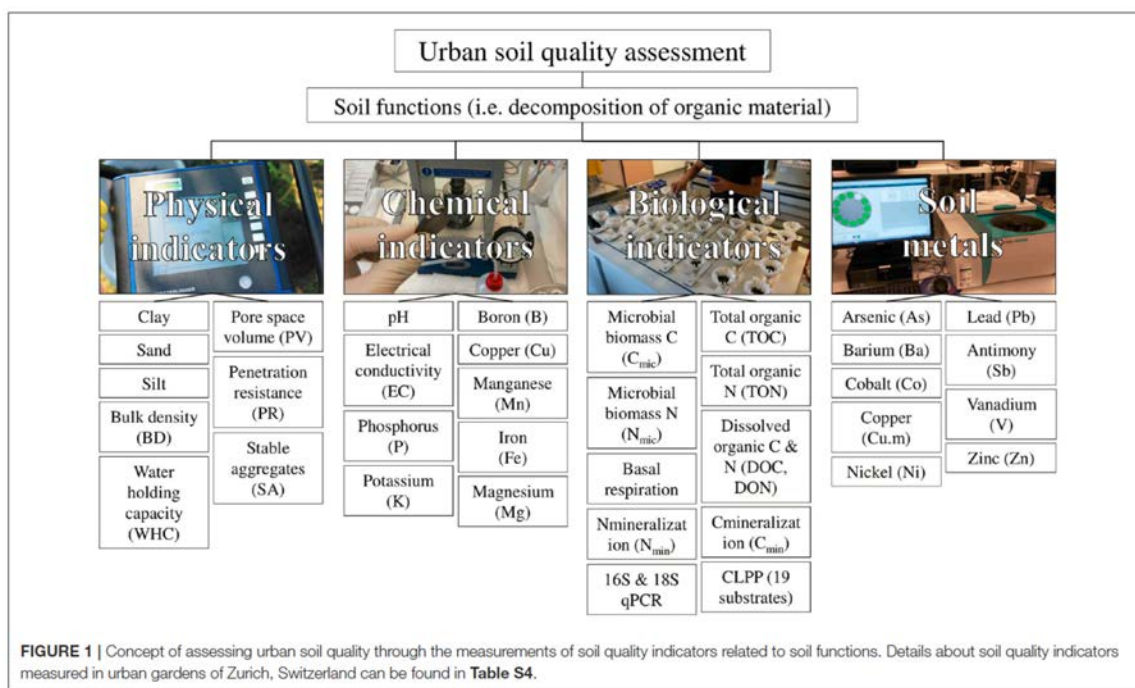
Bijlage 2 Indicatorsets voor stadslandbouw

(volgens Tresch et al., 2018: biologische kwaliteit en stadsbodem)

TABLE 1 | Measures of soil quality (MSQ) ($N = 44$) obtained in all urban garden sites ($N = 170$).

Physical	Chemical	Biological	SOM
Clay [%]	pH	Basal respiration [$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1}\text{h}^{-1}$]	SOC [%]
Silt [%]	EC [$\mu\text{S cm}^{-1}$]	C_{min} [$\text{g CO}_2\text{-C kg}^{-1}$]	TON [%]
Sand [%]	P [mg kg^{-1}]	N_{min} [mg kg^{-1}]	DOC [mg kg^{-1}]
Water holding capacity (WHC) [%]	K [mg kg^{-1}]	C_{mic} [mg kg^{-1}]	DON [mg kg^{-1}]
Pore space volume [%]	Mg [mg kg^{-1}]	N_{mic} [mg kg^{-1}]	DRIFTS peak A (labile) [A.U. cm^{-1}]
Bulk density (BD) [g cm^{-3}]	Fe [mg kg^{-1}]	Anecic species richness [ind. m^{-2}]	DRIFTS peak B (labile) [A.U. cm^{-1}]
Mean penetration resistance [MPa]	Cu [mg kg^{-1}]	Anecic biomass [g m^{-2}]	DRIFTS peak C (stable) [A.U. cm^{-1}]
Max penetration [MPa]	Mn [mg kg^{-1}]	Anecic abundance [ind. m^{-2}]	DRIFTS peak D (stable) [A.U. cm^{-1}]
Soil depth [cm]	B [mg kg^{-1}]	Endogeic species richness [ind. m^{-2}]	
Stable aggregates (SA) [%]		Endogeic biomass [g m^{-2}]	
		Endogeic abundance [ind. m^{-2}]	
		Epigeic species richness [ind. m^{-2}]	
		Epigeic biomass [g m^{-2}]	
		Epigeic abundance [ind. m^{-2}]	
		Earthworm species richness [m^{-2}]	
		Earthworm biomass [g m^{-2}]	
		Earthworm abundance [ind. m^{-2}]	

Bold printed measurements ($N = 28$) were used for the soil quality assessment after excluding variables with $r > 0.6$ and/or a variable inflation factor > 4 (Borcard et al., 2011).



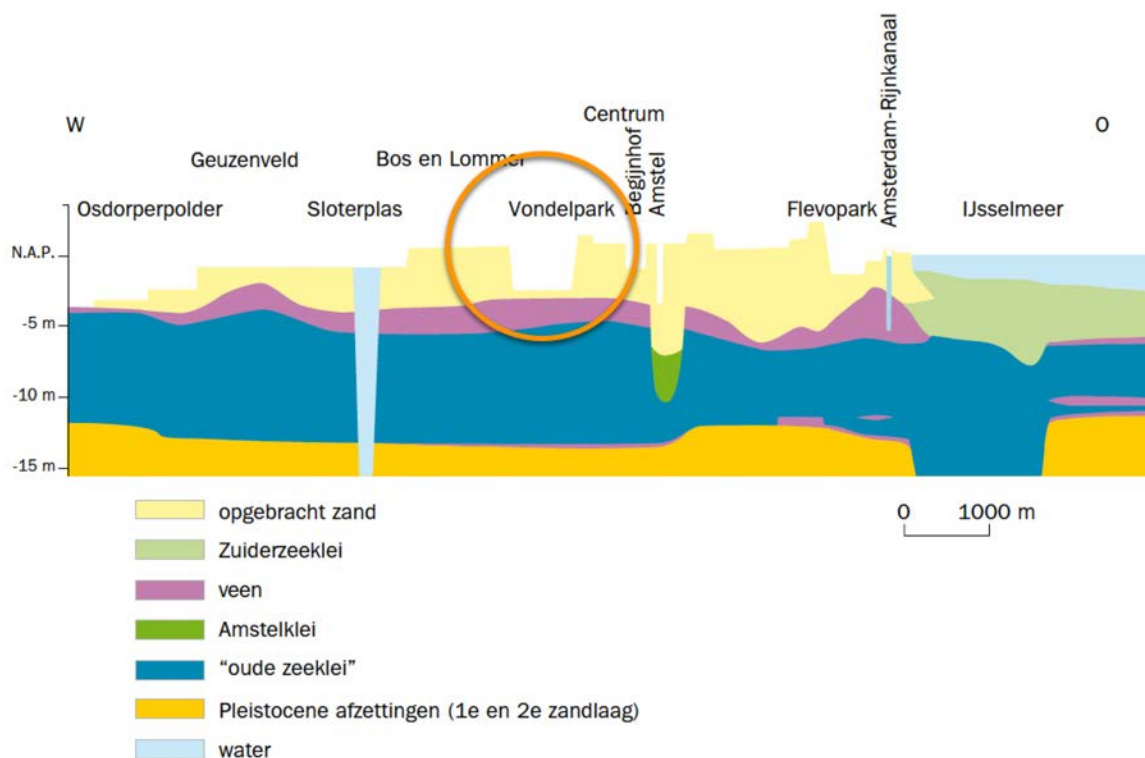
Bijlage 3 De bodemopbouw van een aantal parken in de Amsterdam Metropool

De parken in Amsterdam, zoals het Vondelpark en het Oosterpark, zijn tijdens of na de aanleg vrijwel niet opgehoogd (zie Figuur 18 - Figuur 21). Deze liggen daardoor enkele meters lager dan de omliggende opgehoogde gebieden. Uit Figuur 4 en Figuur 6 valt af te leiden dat op de oppervlakken van het Vondelpark en het Oosterpark sprake is van *enige* ophoging. Of hierbij rekening is gehouden met het aanbrengen van een vruchtbare leeflaag kan uit de figuren niet worden afgeleid (de lichtgele kleur indiceert 'opgebracht zand').

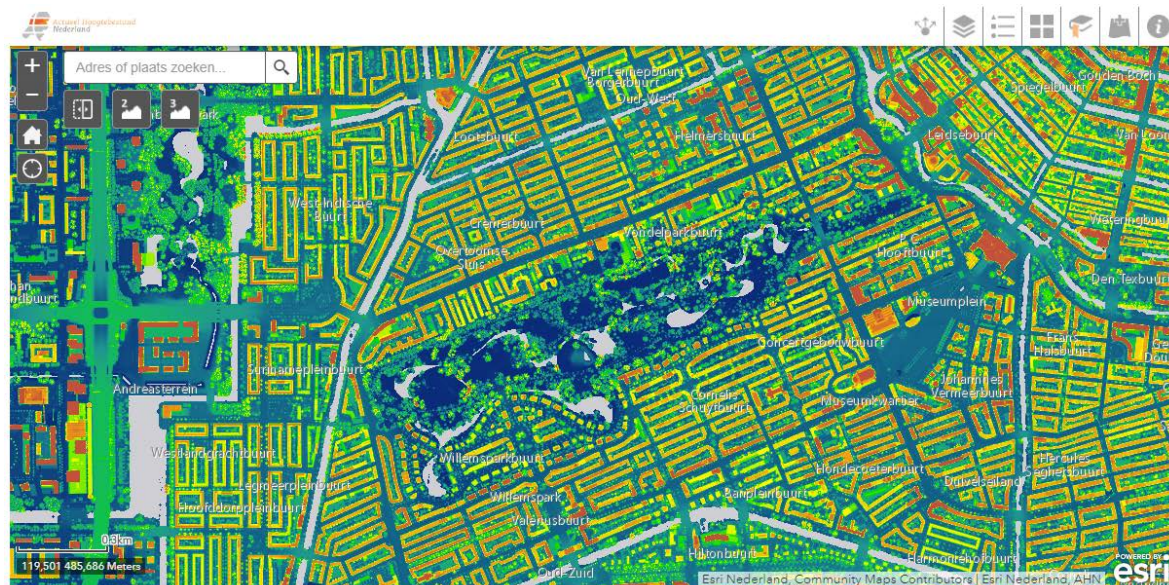
Consequentie van de plaatselijke bodemdaling (of in het geval van een aantal parken in Amsterdam: het plaatselijk *niet*, of veel minder, ophogen van het maaiveld in een aantal parken) is dat de gebieden bij zware regenval de kans lopen als 'badkuip' te gaan fungeren en een reservoir gaan vormen van toegestroomd water. Plaatselijke waterregulatie om de parken heen en goede waterinfiltratie in de parken worden dan belangrijk. In het verslag van het interview met een werknemer van Ingenieursbureau Amsterdam komt de volgende paragraaf terug:

"In de meeste parken in Amsterdam gaat het niet goed met de vegetatie. Het Vondelpark werd bemalen, omdat een lage grondwaterstand beter was voor de conditie van de bomen. Het park zakte, waardoor water juist toestroomde. Doordat men doorging met bemalen, zijn palen van omliggende gebouwen gaan rotten. Pas op dat moment werd de urgentie tot ingrijpen gevoeld. Er zijn damwanden om het park gezet."

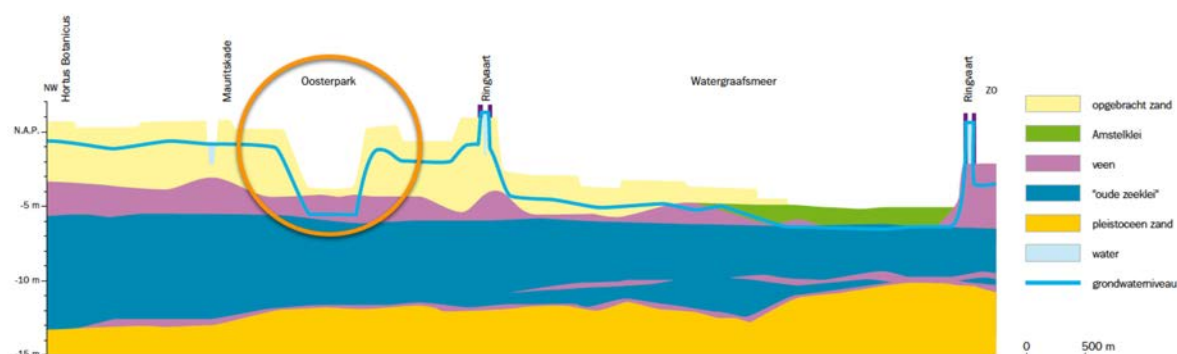
De maaiveld daling t.g.v. oxidatie van de venige ondergrond vindt nog steeds plaats. De bodemfuncties infiltratie, porositeit en waterbergend vermogen worden hier erg belangrijk.



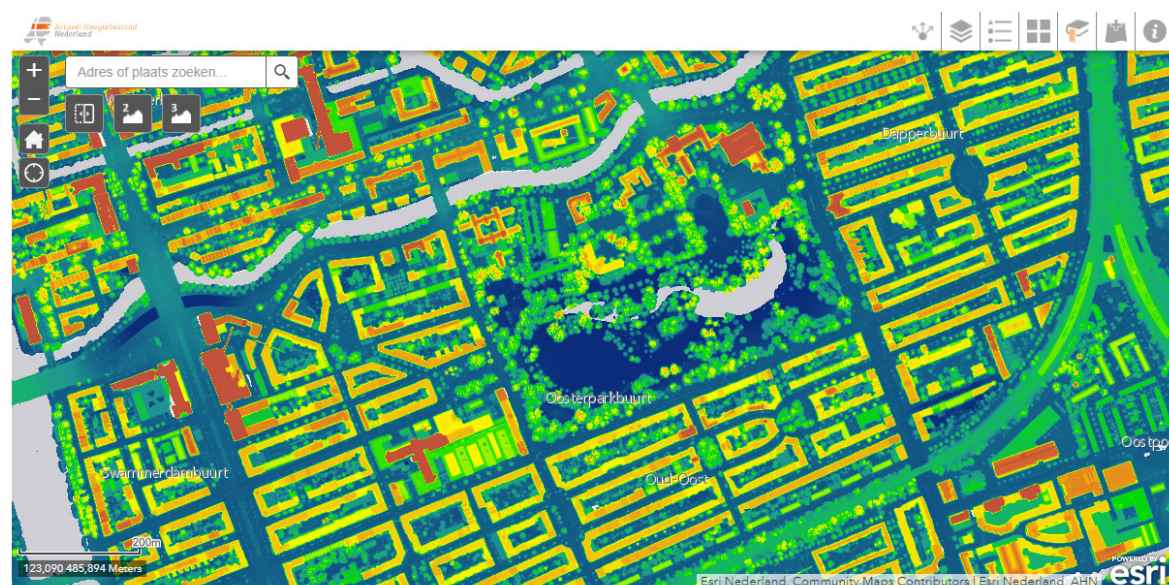
Figuur 18 Profieldoorsnede van een deel van Amsterdam. De verlaagde ligging van het Vondelpark is duidelijk zichtbaar (Bron: De Gans, 2011).



Figuur 19 Hoogtekaart van Amsterdam van het gebied rondom het Vondelpark, met in het midden het Vondelpark. De donkere kleuren geven de verlaagde ligging t.o.v. de omgeving weer (Bron: Actueel Hoogtebestand Nederland, <https://www.ahn.nl/ahn-viewer>).



Figuur 20 Profieldoorsnede van een deel van Amsterdam. De verlaagde ligging van het Oosterpark is duidelijk zichtbaar (Bron: De Gans, 2011).



Figuur 21 Hoogtekaart van Amsterdam van het gebied rondom het Oosterpark, met in het midden het Oosterpark. De donkere kleuren geven een verlaagde ligging t.o.v. de omgeving weer (Bron: Actueel Hoogtebestand Nederland, <https://www.ahn.nl/ahn-viewer>).

De bodemopbouw van Almere is heel anders: de oorsprong van Almere is drooggemalen polder (1967), waardoor de oorspronkelijke ondergrond voornamelijk bestaat uit zeeklei die de gelegenheid heeft gehad om te rijpen. In november 1976 werden de eerste huizen in Almere opgeleverd, negen jaar na de drooglegging. De procedure voor aanleg van bebouwing en groen was als volgt (Verzandvoort, 2019):

- Meer dan een meter spuitend wordt uitgereden of opgespoten, als voorbelasting van de ondergrond om de zetting te forceren.
- Als de ondergrond voldoende gezet is, wordt het teveel aan zand weggehaald, zodat een leeflaag van 1 meter overblijft. Het overtollige zand wordt elders gebruikt.
- De riolering wordt – nadat het gebied voldoende is gezet – aangelegd.
- Vervolgens vindt terreinafwerking plaats: wegen en groen worden aangelegd.

Groeiplaatsen voor bomen werden in Almere als volgt aangelegd:

- In opgehoogd terrein wordt zand weggehaald tot op het contactvlak met de oude zeebodem. Gerijpte klei wordt ingebracht in het gat en doorwoeld in de ondergrond om wortelgroei tot in de ondergrond te stimuleren. In dit gat wordt de boom geplant en verder opgevuld met gerijpte klei. Deze praktijk is ontwikkeld op basis van ervaring. Het volume van een groeiplaats is 16-25 m³ voor een boom van de eerste grootte.
- In niet-opgehoogde terreinen (typisch gebied bedoeld voor bossen en parken; de meeste tuinen zijn aangelegd op met zand opgehoogd terrein) wordt in de voormalige zeebodem een oppervlak van 2 bij 2 meter doorgespit. Dit wordt doorgespit met een tandenbak, om te voorkomen dat de wanden dichtgesmeerd raken. In dit gat wordt de boom geplant en aangevuld met gerijpte klei.

Bijgevolg staat het merendeel van het stadsgroen in de woongebieden meestal in een dunne leeflaag van klei op steriel ophoogzand. Waar bomen geplant zijn, is het steriele ophoogzand vervangen door klei of een andere grondsoort.

Achteraf gezien, en met de kennis van nu, bleek dat de hoeveelheid groeimedium niet voldoende is om een volwassen bomenbestand tot wasdom te laten komen. In nieuwe situaties worden de plantplaatsen veel groter gemaakt, 16-25 m³ voor bomen (i.p.v. 2 m³ bij de eerste aanleg van groenvoorzieningen). Te kleine groeiplaatsen leiden ertoe dat boomwortels gaan groeien naar plaatsen waar wel voedingsstoffen zijn, zoals tuinen of in rioleringen. Daardoor veroorzaken ze schade door wortelopdruk of verstopping van rioolsystemen.

In tegenstelling tot de bebouwde kernen liggen de groensystemen en de parken wel op de jonge zeeklei, en dus ook lager. Daar waar woonwijken grenzen aan robuuste groensystemen heb je een maaiveldsprong waardoor relatief natte stukken ontstaan. De maaiveldsprong is vooral problematisch wanneer de groenstroken opgesloten zijn tussen twee opgehoogde gebieden, aangezien je daar een soort 'badkuip' creëert en deze erg nat worden. Hoogteverschillen in het terrein tussen bebouwing en groenzones worden versterkt doordat huizen onderheid zijn en niet dalen, maar het omliggende terrein wel.

Conclusie situatie Amsterdam en Almere

Uit de twee voorbeelden in Amsterdam en Almere hierboven blijkt dat de mate van bodemdaling sterk afhangt van de locatie, inrichting en onderliggend bodemtype. Daarbij spelen ophogingen een rol in die zin dat deze mede bepalen of de bodemdaling uniform optreedt dan wel lokaal.

In het geval van veel Amsterdamse stadsparken is door de ophoging van het omringende maaiveld de hoogte van het maaiveld binnen de stadsparken vaak lager. Hierdoor treden er specifieke problemen op, zoals oppervlakkige afstroming van het omringende gebied; als gevolg daarvan ondervindt het park lokaal wateroverlast.

In het geval van Almere heeft de wijze van aanleg van de wijken (zandpakket op gerijpte zeeklei) een groot effect op de waterhuishouding van de lageregelegen parken gehad. De parken zijn aangelegd op de originele zeeklei, terwijl de omringende bebouwing op een verhoogd zandpakket is gebouwd. Ook hier ontstaat dus een badkuipeffect. De zeeklei-laag onder de parken is minder doorlatend dan de hoger gelegen omringende zandlagen, waardoor het toegestroomde water niet snel weg kan en wateroverlast in de parkgebieden ontstaat. De combinatie van een slechte bodemstructuur, zuurstoftekort en, deels daardoor, een slecht ontwikkelde bodembiodiversiteit, zorgt ervoor dat een aantal bodemecosysteemdiensten niet optimaal kan functioneren.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3054
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers (5.500 fte) en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Rapport 3054
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers (5.000 fte) en 12.500 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

