

De inzetbaarheid van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) bij het inzichtelijk maken van de relatie tussen ecologische bodemkwaliteit en vegetatie in openbare ruimte



Auteur: Fabienne Kers
Datum: 13 juni 2022

De inzetbaarheid van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) bij het inzichtelijk maken van de relatie tussen ecologische bodemkwaliteit en vegetatie in openbare ruimte

Colofon

Titel

De inzetbaarheid van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) bij het inzichtelijk maken van de relatie tussen ecologische bodemkwaliteit en vegetatie in openbare ruimte.

Trefwoorden

Remote Sensing – GIS – Bodemecologie – Openbare ruimte

Datum

13 juni 2022

Project

Afstudeerscriptie Bos en Natuurbeheer; Toegepaste Ecologie & Ruimtelijke Informatie Technologie
Hogeschool Van Hall Larenstein Velp

Opdrachtgever

De Vlinderstichting

Auteur

Fabiënne Kers
000012423

Begeleiding

Dan Assendorp – *Hogeschool Van Hall Larenstein*
Albert Vliegenthart – *De Vlinderstichting*
Nora Thierry – *De Vlinderstichting*

Foto voorpagina

Bodem+, 2009.

Voorwoord

Dit onderzoeksrapport is het product van de afstudeeropdracht die voor mij de opleiding Bos- en Natuurbeheer aan Hogeschool Van Hall Larenstein afrondt. Bij de Vlinderstichting heb ik een uitdagende opdracht mogen vormgeven, waarin mijn specialisaties, en persoonlijke interesse, in toegepaste ecologie en ruimtelijke informatie technologie met elkaar zijn gecombineerd.

De opdracht is in de loop van het proces steeds verder aanscherpt. Niet alleen is de opdracht een uitdaging geweest op professioneel vlak, ook op persoonlijk vlak heb ik mijn grenzen verder kunnen verkennen en verleggen.

Graag wil ik Dan Assendorp, Albert Vliegenthart en Nora Thierry bedanken voor de begeleiding, hun geduld en steun. Daarnaast wil ik Jurriën van Deijk bedanken voor het tijdelijk opvangen van de externe begeleiding tijdens de gelijktijdige vakanties van Albert en Nora. In het bijzonder wil ik Bas Oteman bedanken voor alle feedback en hulp, zeker in de laatste fase van het proces. Dit heeft me enorm geholpen het onderzoek tot een goed einde te brengen. Tot slot wil ik nog De Vlinderstichting als collectief bedanken voor alle faciliteiten, literatuur en materialen waarvan ik gebruik heb mogen maken.

Veel leesplezier toegewenst,

Fabiënne Kers

Wageningen, 13 juni 2022

Samenvatting

Dit onderzoeksrapport is het resultaat van een afstudeeropdracht die de opleiding Bos- en Natuurbeheer aan Hogeschool Van Hall Larenstein afrondt. Het is geschreven in opdracht van De Vlinderstichting binnen het kader van project Onder het Maaiveld, in het bijzonder het waarderingssysteem voor de ecologische bodemkwaliteit dat zij momenteel ontwikkelen. Het rapport beschrijft een onderzoek naar de inzetbaarheid van de Normalized Difference Vegetation Index bij het inzichtelijk maken van de relatie tussen ecologische bodemkwaliteit en vegetatie in openbare ruimte.

Het nemen van bodemsamples is intensief en kostbaar. Project Onder het Maaiveld is daarom geïnteresseerd in het verkennen van innovatieve technieken die de resultaten van het bodemonderzoek dat zij uitvoeren kan aanvullen of ondersteunen. Wanneer er aanvullende informatie aan de bodemonsters kan worden gekoppeld, kunnen de resultaten meer betrouwbaar worden geïnterpoleerd of kunnen de resultaten meer informatie bieden over de bodemkwaliteit. Het onderzoek heeft dan ook als doel het vinden van een geschikte techniek om graslandbeheer te koppelen aan bodemkwaliteit en zo bij te dragen aan de ontwikkeling van het waarderingsmechanisme van project Onder het Maaiveld. Het verkennen van een relatief eenvoudige techniek als het berekenen van een vegetatie index met behulp van opensource data is daarom een voor de hand liggend uitgangspunt. Een voor de hand liggend studieonderwerp is de openbare ruimte, gezien daar het minst bekend is over de ecologische kwaliteit van de bodem. En dan in het bijzonder de graslandvegetaties daar, aangezien vegetatie in relatie staat tot de bodem en grasland in dit gebied het grootste vegetatieoppervlak beslaat. Op deze manier is de volgende centrale vraag opgesteld:

“In hoeverre kan de Normalized Difference Vegetation Index worden ingezet om de relatie tussen ecologische bodemkwaliteit en graslandvegetatie in de openbare ruimte aan te tonen?”

Het onderzoek is gebaseerd op een uitgebreide literatuurstudie, GIS-onderzoek, veldonderzoek en statistische analyse. Er is op 13 locaties in de openbare ruimte een bodemsample genomen, een vegetatieopname gemaakt en een gemiddelde NDVI-waarde berekend. Vervolgens is over deze dataset de relatie berekend tussen de gemiddelde NDVI-waarde en bodemkwaliteitsparameters.

Enkel bij bodemparameter verkruielbaarheid [rapportcijfer] is een resultaat met een significantieniveau van 0.05 naar voren gekomen. De resultaten hebben dan ook niet aangetoond dat er sprake is van een bruikbare (ofwel, significante) relatie tussen de NDVI waarde en de bodemkwaliteitsparameters. Er is echter ook niet uit te sluiten dat er geen sprake is van een dergelijke relatie. Dit duidt erop dat er sprake is van een complexere statistische relatie. Op basis van de data die in dit onderzoek is verzameld lijkt de toepassing van de NDVI voor het vaststellen van bodemeigenschappen dan ook ingewikkeld en niet eenvoudig te implementeren.

De conclusie is dat op basis dit onderzoek de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) niet kan worden ingezet om de relatie tussen ecologische bodemkwaliteit en graslandvegetatie in de openbare ruimte aan te tonen. De belangrijkste beperking van het onderzoek is het beperkte aantal samples. De grootte van de samplegroep is onderschat, waardoor het mogelijk is dat relaties die in werkelijkheid wel bestaan niet in de resultaten naar voren zijn gekomen. Verwacht werd dat de bodemtoestand in openbare ruimte overeen zou komen met de homogeniteit in vegetatie. Dit blijkt niet het geval te zijn. Om een bruikbare relatie tussen de NDVI waarde en de bodemkwaliteitsparameters wel te kunnen uitsluiten is vervolgonderzoek met een grotere samplegroep noodzakelijk. Ondanks het feit dat de resultaten in dit onderzoek een bruikbare relatie niet hebben kunnen bevestigen of uitsluiten, is er wel nog steeds sprake van potentie. De NDVI staat bekend als een veelzijdige index die toepasbaar is in verschillende situaties, daarom is het mogelijk dat vervolgonderzoek wel toepassingspotenties vind voor de NDVI binnen project Onder het Maaiveld.

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1 Inleiding	7
1.1 Context	7
1.2 Probleemanalyse	8
1.3 Doelstelling.....	9
1.4 Onderzoeksvragen.....	9
1.5 Leeswijzer	10
2 Theoretisch Kader	11
2.1 Ecologische Bodemkwaliteit.....	11
2.1.1 Relatie tussen bodem en vegetatie	12
2.1.2 Bodemonderzoeksprotocol	12
2.1.3 Prioritaire bodemkwaliteitsparameters	13
2.2 Graslandvegetatie in Openbare Ruimte.....	14
2.2.1 Beheervormen van vegetatie in openbare ruimte.....	14
2.2.2 Referentiepunt bodemtoestand.....	14
2.3 Remote Sensing.....	15
2.3.1 Spectrale indices.....	15
2.3.2 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) en interpretatie	15
3 Methoden.....	17
3.1 Onderzoeksopzet.....	17
3.2 Werkwijzen.....	18
3.2.1 Literatuuronderzoek.....	18
3.2.2 GIS-onderzoek [deel 1]	18
3.2.3 Veldonderzoek.....	20
3.2.4 GIS-onderzoek [deel 2]	21
3.2.5 Statistische analyse	22
4 Resultaten	24
4.1 Achtergrondinformatie.....	24
4.1.1 Topografie	24
4.1.2 Geomorfologie, bodemtype en waterhuishouding.....	25
4.1.3 Bodemleeftijd	26
4.1.4 Vegetatie en beheer	27

4.2	Berekeningen Normalized Difference Vegetation Index.....	28
4.2.1	NDVI-waarden studiegebied	28
4.2.2	Gemiddelde NDVI-waarde per bodemsample	28
4.3	Koppeling NDVI-waarden en vegetatie	29
4.3.1	Vegetatieopnames	29
4.3.2	Relatie tussen NDVI en vegetatie	30
4.4	Koppeling NDVI-waarden en bodemeigenschappen	30
4.4.1	Bodemonderzoek	30
4.4.2	Relatie tussen NDVI en bodemeigenschappen	31
5	Conclusies.....	33
6	Discussie.....	35
7	Aanbevelingen	37
	Bronvermelding	38
	 Bijlagen.....	 41
	Bijlage 1: Schematische weergave GIS-workflow gemiddelde NDVI-waarde berekening	41
	Bijlage 2: Voorbeeld EurofinsAgro BemestingsWijzer Rapport.....	43
	Bijlage 3: Vegetatieopnames.....	48
	Bijlage 4: Luchtfoto's Bodemleeftijdsonderzoek.....	61
	Bijlage 5: Wageningen Campus: Topografie.....	64
	Bijlage 6: Wageningen Campus: Hoogtemodel AHN 3.....	65
	Bijlage 7: Wageningen Campus: Geomorfologie.....	66
	Bijlage 8: Wageningen Campus: Grondsoorten	67
	Bijlage 9: Wageningen Campus: Bodemtypen	68
	Bijlage 10: Wageningen Campus: Grondwater	69
	Bijlage 11: Wageningen Campus: Kwel en Infiltratie kaart	70
	Bijlage 12: Wageningen Campus: NDVI-waarden	71
	Bijlage 13: Wageningen Campus: Gemiddelde NDVI-waarden.....	72
	Bijlage 14: Tabel Totaal aan Onderzoekresultaten	73
	Bijlage 15: Grafieken bij statistische berekeningen	75

1 Inleiding

De bodem, en dan met name de toplaag hiervan, is het fundament van biodiversiteit. Ook onze maatschappij profiteert zowel bewust als onbewust van allerlei natuurlijke bodemfuncties zoals de opslag van koolstof, (drink)water en de recycling van nutriënten (De Graeff et al., 2020). Echter hoe we nu met de bodem omgaan maakt dat de bodem zwaar onder druk staat. Intensief menselijk bodemgebruik verstoort de fysieke-, chemische- en biotische eigenschappen van de bodem (De Graeff et al., 2020). Dit heeft afname van de bodemkwaliteit en daarmee afname van de biodiversiteit en de natuurlijke functionaliteiten tot gevolg (De Graeff et al., 2020). Aangezien we als maatschappij afhankelijk zijn van een functionele bodem, is een betere omgang ermee essentieel.

Het waarderen van de ecologische kwaliteit van onze bodem is dan ook juist nu ontzettend belangrijk. We staan als samenleving momenteel voor grote maatschappelijke vraagstukken zoals het wereldwijde biodiversiteitsverlies (WWF, 2020), waarbij goed doordachte beslissingen over hoe we met onze bodem omgaan onmisbaar zijn. Hierbij is het noodzakelijk dat de Nederlandse bodem op het gebied van natuurlijk functioneren inzichtelijk is en dat is momenteel niet voldoende het geval. Om dit inzicht te ontwikkelen zijn in deze studie de mogelijkheden om met behulp van remote sensing bodemeigenschappen in kaart te brengen onderzocht en is er geanalyseerd hoe deze techniek ingezet kan worden in de gebieden waar het minst aandacht is voor het ecologisch functioneren van de bodem, binnen de bebouwde kom.

1.1 Context

De Vlinderstichting houdt zich bezig met de bescherming van de soortgroepen, dagvlinders, nachtvinders en libellen; het uitvoeren van projecten die vlinders en libellen de beste overlevingskansen geven; en het verzamelen van kennis als basis van de bescherming. Een grote algehele biodiversiteit is onmisbaar bij het beschermen van specifieke soortgroepen en op wereldschaal gezien leeft ruim een kwart daarvan onder de grond. De Vlinderstichting is daarom momenteel betrokken bij project Onder het Maaiveld (OHM).

Onder het Maaiveld is een driejarig project van de Vlinderstichting, het Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW), Centrum voor Bodemecologie (CSE) en het Nederlandse comité van de International Union for Conservation (IUCN NL) die in samenwerking met een aantal andere maatschappelijke partners de waarde van een gezonde bodem voor onze samenleving onder de aandacht brengt en bezig is met het aanleveren van de nodige kennis om structureel beter met onze bodem om te kunnen gaan dan we nu doen. Het project heeft drie doelstellingen: 1) Waarde creëren voor een vitale bodem, 2) kennis versterken en uitwisselen; en 3) bewustzijn bevorderen.

De Vlinderstichting houdt zich binnen project OHM o.a. bezig met het eerste doel en ontwikkelt daarvoor een waarderingssysteem voor de ecologische bodemkwaliteit. Er wordt een dashboard ontwikkeld waarmee particulieren maar ook professionals, zoals gemeenten, groenbeheerders en projectontwikkelaars) zelf inzicht krijgen in de ecologische bodemkwaliteit. Op deze manier wordt geprobeerd mensen aan te zetten om de bodem beter te beheren. Hiervoor zal eerst een beoordelingssysteem moeten worden ontwikkeld dat bodembiodiversiteit vertaalt naar een eenvoudig te interpreteren systeem om zo de partijen die zelf deze kennis niet in huis hebben te ondersteunen en betrouwbare en recente kennis ter beschikking te stellen.

Het OHM waarderingssysteem gaat uiteindelijk van toepassing zijn op heel Nederland en daarmee op zowel op stedelijk-, agrarisch- als natuurgebied. De Vlinderstichting richt zich voorlopig op stedelijk gebied, ofwel openbare ruimte. Hier is namelijk het minst bekend over het ecologisch functioneren van de bodem en de meeste vraag naar informatie.

Over het algemeen word er vanuit gegaan dat de bodem in openbare ruimte van slechte ecologische kwaliteit is, met als gevolg dat er geen aandacht aan word besteed (A. Vliegthart, persoonlijke communicatie, 23 februari 2022). Door een nieuw waarderingsmechanisme te ontwikkelen hoopt project Onder het Maaiveld hier verandering in te brengen. Echter, het waarden van de bodemkwaliteit is erg complex. Het vraagstuk waar De Vlinderstichting nu aan werkt is daarom “Hoe is de ecologische bodemkwaliteit het best grootschalig te kwalificeren?”.

1.2 Probleemanalyse

Tegenwoordig word er op het gebied van natuurbeheer en -behoud steeds meer innovatieve technologie toegepast. Denk bijvoorbeeld aan ecologisch adviesbureaus die met drone en warmtecamera efficiënt weidevogelnesten of wild kunnen opsporen (Brandhof natuur en platteland, z.d.); of Rijkswaterstaat die momenteel de mogelijkheden verkent van het monitoren van trekvisser met automatische beeldherkenning (Wageningen University & Research, 2021). Verschillende instrumenten, sensoren en software dragen zo bij aan het effectiever beschermen en behouden van de biodiversiteit. Ook in dit onderzoek komen technologie en biodiversiteitsbehoud samen.

In dit stadium van de ontwikkeling van het waarderingssysteem is er ruimte om verschillende technieken te verkennen die informatie kunnen opleveren over de bodemkwaliteit van Nederland. Dit is nuttig voor zowel de onderbouwing als validatie van data die daar op dit moment al van beschikbaar is. De exacte bodemkwaliteitsparameters en waarnemingstechnieken die het waarderingssysteem gaat hanteren zijn nog niet vast gelegd.

Vegetatie is een indicator voor bodemkwaliteit. Een manier om de bodem te kwalificeren is de relatie tussen vegetatie en bodem te bepalen. Zo is het mogelijk om grootschaliger de bodemkwaliteit te bepalen die op dit moment vooral onderzocht word met bodemonsters. Binnen de openbare ruimte is voedselrijkgrasland het meest voorkomende vegetatietype en tegelijkertijd het minst soortenrijke vegetatietype. Sommigen graslanden in openbare ruimte worden echter ecologisch beheerd. Er kan worden aangenomen dat deze graslanden soortenrijker zijn dan de graslanden waar regulier beheer plaatsvindt. Daarom is het belangrijk dat de relatie tussen groenbeheer en bodemkwaliteit inzichtelijk word gemaakt.

De Vlinderstichting is gestart met het bemonsteren van de bodem in verschillende steden. De monsters worden op verschillende graslandtypes genomen middels een bodemonsterprotocol. Het protocol levert data op van een groot aantal aan het bodemleven gerelateerde bodemparameters.

Met deze manier van bodemonderzoek kan niet heel Nederland worden onderzocht. Het nemen van bodemonsters is intensief en kostbaar. Hierdoor is het interessant om technieken te verkennen die de resultaten van het bodemonderzoek kunnen ondersteunen of aanvullen. Wanneer er aanvullende informatie aan de bodemonsters kan worden gekoppeld, kunnen de resultaten meer betrouwbaar worden geïnterpoleerd of kunnen de resultaten meer informatie bieden over de bodemkwaliteit.

Remote sensing technieken bied veel potentie om in relatief korte tijd grote hoeveelheden aanvullende informatie te verzamelen. Daarentegen zijn er tussen remote sensing technieken grote verschillen in kennisintensiviteit, tijdsbeslag en kostbaarheid. Het verkennen van een relatief eenvoudige techniek als het berekenen van een vegetatie index met behulp van opensource data is daarom een voor de hand liggend uitgangspunt.

Met name de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) lijkt erg geschikt om informatie over vegetatie te koppelen aan informatie over de bodem of mogelijk zelfs naar te vertalen. Deze vegetatie index geeft een indicatie van de gezondheid van vegetatie gebaseerd op hoe planten licht reflecteren op specifieke frequenties (Yengoh, Dent, Olsson, Tengerberg & Tucker III, 2015). De index kan al worden berekend middels het gebruik van opensource geografisch informatiesystemen (GIS) en opensource satellietdata waarin zichtbaar licht (Rood, groen en blauw, ofwel RGB) en nabij-infraroodlicht zijn waargenomen. Daarnaast kost het maken van de berekening relatief weinig tijd en is de techniek relatief eenvoudig uit te voeren. Samengevat is de volgende probleemstelling te herleiden: Het is onbekend of middels Remote Sensing eigenschappen van vegetatie te koppelen zijn aan de ecologische bodemkwaliteit in openbare ruimte.

1.3 Doelstelling

Het doel van het onderzoek is het vinden van een geschikte techniek om graslandbeheer te koppelen aan bodemkwaliteit. De uitkomsten worden ingezet in het waarderingsmechanisme van OHM, maar worden ook beschikbaar voor andere projecten die gerelateerd zijn aan ecologisch groenbeheer.

Herstel van bodemkwaliteit en het inzetten van ecologisch beheer worden de standaard binnen het natuurinclusief werken. Daarmee draagt deze ontwikkeling en de kwaliteitsborging van dit onderzoek bij aan de transitie op het gebied van duurzaamheid en biodiversiteitsherstel.

1.4 Onderzoeksvragen

Binnen Remote Sensing lijkt de NDVI de meest voor de hand liggende techniek om oplossingsgericht onderzoek uit te voeren naar de koppeling tussen vegetatie en bodemkwaliteit. Deze techniek vormt het uitgangspunt van dit onderzoek.

Hoofdvraag

“In hoeverre kan de Normalized Difference Vegetation Index worden ingezet om de relatie tussen ecologische bodemkwaliteit en graslandvegetatie in de openbare ruimte aan te tonen?”

Om de hoofdvraag goed te beantwoorden zijn er een aantal stappen te zetten. Daarom zijn er deelvragen geformuleerd.

Deelvragen

1. *“Hoe zijn NDVI-waarden volgens de literatuur het best te interpreteren?”*
2. *“Wat is de verwachte relatie tussen ecologische bodemkwaliteit en vegetatie op basis van de literatuur?”*
3. *“In hoeverre is de gemiddelde NDVI-reflectiewaarde van graslandvegetaties in openbare ruimte gerelateerd aan vegetatieopnames?”*
4. *“In hoeverre is de gemiddelde NDVI-reflectiewaarde van graslandvegetaties in openbare ruimte gerelateerd aan veldmetingen van de ecologische bodemkwaliteit?”*

1.5 Leeswijzer

Het eerste inhoudelijke gedeelte van dit rapport is hoofdstuk 2 Theoretisch Kader. Dit hoofdstuk behandelt zowel het literatuuronderzoek dat voorafgaand aan het onderzoek is uitgevoerd als het literatuuronderzoek dat is uitgevoerd om de beschrijvende deelvragen te beantwoorden, deelvraag 1 en 2. In paragraaf 2.1 is het begrip 'ecologische bodemkwaliteit' gedefinieerd, de relatie tussen bodem en vegetatie beschreven, het bodemprotocol dat is toegepast beschreven en de prioriteit van de gemeten bodemkwaliteitsparameters beschreven. Paragraaf 2.2 definieert vervolgens het begrip 'graslandvegetatie in openbare ruimte', beschrijft de beheervormen van vegetatie in openbare ruimte en biedt een referentiepunt voor de bodemtoestand in graslandvegetatie in openbare ruimte. Tot slot beschrijft paragraaf 2.3 de begrippen 'remote sensing', 'spectrale indices' en 'Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)'. Hierop volgt hoofdstuk 3 Methoden, waarin de onderzoeksopzet (paragraaf 3.1) en alle werkwijzen (paragraaf 3.2) worden toegelicht. Dit hoofdstuk maakt gebruik van de informatie die in het voorgaande hoofdstuk is verzameld. De werkwijzen worden beschreven aan de hand van het stappenplan dat in paragraaf 3.1 te zien is. In hoofdstuk 4 Resultaten worden de resultaten beschreven waarmee de laatste twee deelvragen zijn beantwoord. De eerste paragraaf, 4.1, biedt inzicht in relevante achtergrondinformatie van het studiegebied. Paragraaf 4.2 presenteert de resultaten van de berekening van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) en de berekening van de gemiddelde NDVI-waarden per bodemsamplepunt. Paragraaf 4.3 beschrijft de resultaten van de vegetatieopnames en de statistische berekeningen tussen de gemiddelde NDVI-waarden en vegetatie. Paragraaf 4.4 beschrijft de resultaten van het bodemonderzoek en de statistische berekeningen tussen de gemiddelde NDVI-waarden en bodemeigenschappen. Hoofdstuk 5 bevat de discussie van het onderzoek, in hoofdstuk 6 komen de conclusies aan bod en tot slot volgen in hoofdstuk 7 enkele suggesties en aanbevelingen op vervolgonderzoek.

2 Theoretisch Kader

In dit hoofdstuk word het literatuuronderzoek beschreven aan de hand van drie kernthema's binnen het onderzoek: Ecologische bodemkwaliteit, vegetatie en remote sensing . In de komende paragrafen worden de belangrijkste begrippen, theorieën en modellen beschreven die zijn gebruikt in het onderzoek.

2.1 Ecologische Bodemkwaliteit

Gezien het feit dat project Onder het Maaiveld zich richt op bodemkwaliteit met betrekking tot de ecologie, is ervoor gekozen om in dit rapport de term 'Ecologische bodemkwaliteit' te hanteren. In de basis word hiermee het begrip 'Bodemkwaliteit' bedoeld zoals deze is gedefinieerd in RIVM Rapport *Typering van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit* (Rutgers et al., 2007). De term 'Ecologische bodemkwaliteit' legt binnen deze definitie de nadruk op de belangen van bodemecosystemen en daarmee de bodembiodiversiteit.

Bodemkwaliteit:

"Een richtinggevend concept waarmee de kwaliteit van de bodem en het bodemecosysteem wordt benoemd (VROM, 2003). Bodemkwaliteit wordt bepaald door de biologische, chemische en fysische factoren van het bodemsysteem, evenals door factoren in het bodembeheer die deze factoren beïnvloeden. Het begrip bodemkwaliteit kan operationeel gemaakt worden met behulp van de zogenaamde ecosysteemdiensten. Deze bieden een platform om diverse belangen van bodemgebruikers (lokaal, regionaal, landelijk) te wegen." (Rutgers et al., 2007)

Rutgers et al. (2007) benoemen in hun definitie van bodemkwaliteit het bodemecosysteem, waarin (bodem)biodiversiteit tot uitdrukking komt. Tot slot maken zij de connectie tussen ecologische bodemkwaliteit en de maatschappelijke diensten die bodemecosystemen ons leveren: ecosysteemdiensten.

Bodemecosysteem:

"Een dynamische complex van levensgemeenschappen van planten, dieren, bodemorganismen en hun niet-levende omgeving, die in een onderlinge wisselwerking een functionele eenheid vormt (naar 'ecosysteem' volgens Tansley (1935)). Het bodemecosysteem levert zogenoemde ecosysteemdiensten aan de maatschappij. De aanduiding 'bodemecosysteem' is een compromis, omdat 'ecosysteem' in de praktijk onvoldoende geassocieerd wordt met de bodem en 'bodemsysteem' onvoldoende geassocieerd wordt met levende aspecten." (Rutgers et al., 2007)

Biodiversiteit (kenmerk of parameter):

"Een uitdrukking van het (bodem)ecosysteem in termen van voorkomen van groepen, soorten, aantallen en activiteiten van organismen, processen en functies. De uitwerking vindt plaats in termen van genetische, structurele, functionele of andere vormen van diversiteit. De definitie van biodiversiteit is dus breder dan soortenrijkdom." (Rutgers et al., 2007)

Ecosysteemdienst:

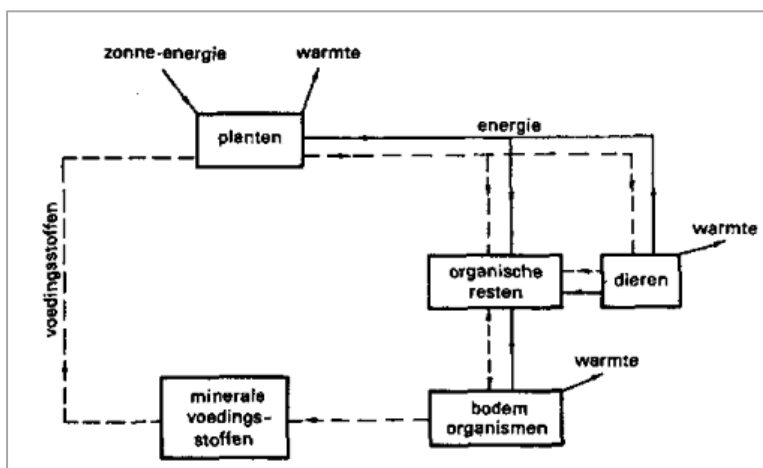
"Een maatschappelijke dienst het bodemecosysteem, zoals door gebruiker, (de)centrale overheden, en maatschappij worden herkend en erkend. Op basis van een TCBadvies (TCB, 2003) werden vier basisdiensten onderscheiden, namelijk bodemvruchtbaarheid, weerstand tegen stress en adaptatie, de bodem als buffer en reactor, en biodiversiteit. Deze vier basisdiensten kunnen vervolgens verder onderscheiden worden tot in totaal tien ecosysteemdiensten." (Rutgers et al., 2007)

2.1.1 Relatie tussen bodem en vegetatie

Planten stellen verschillende eisen aan het milieu waarin ze kunnen groeien. Over het algemeen kan worden gesteld dat de bodem de belangrijkste milieucomponent hierin vormt (Koster, 2007). De bodem bepaalt welke planten waar kunnen groeien en beïnvloedt dan ook voor een groot deel het type vegetatie dat ergens voorkomt en de soortensamenstelling daarvan. Naast de fysische- en chemische eigenschappen van de bodem; en de vochttoestand en waterkwaliteit, bepaalt ook menselijke invloed in hoge mate welke planten ergens van nature kunnen groeien volgens Koster (2007).

Het organische stofgehalte in de bodem is een belangrijke factor. Het is onder meer van invloed op het vochthoudend vermogen en het vermogen om voedingsstoffen vast te houden in de bodem (Locher & De Bakker, 1987). Verder zijn de grondsoort, zuurgraad, aanwezigheid van kalk, voedselrijkdom (voornamelijk bepaald door nitraat en fosfaat (Koster, 2007)) en de vochttoestand van belang. Wat betreft voedselrijkdom zijn ook de aanwezigheid van mineralen als ijzer, calcium en magnesium nodig bij de groei en ontwikkeling van een plant (Koster, 2007).

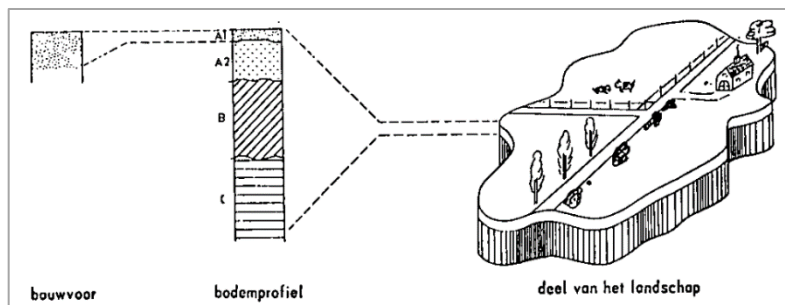
De relatie tussen vegetatie en bodem valt onder de ecologische wetenschap, de wetenschap die zich bezighoudt met de wisselwerking tussen organismen en hun omgeving (Locher & De Bakker, 1987). De bodem wordt hierin gezien als een samenhangend, min of meer stabiel geheel van organismen en omgeving; wat een ecosysteem wordt genoemd (Zie *Figuur 1*). Zoals te zien in *Figuur 1* zijn planten en het bodem-ecosysteem met elkaar verbonden in essentiële nutriëntenkringlopen. Bodemdieren, met in het bijzonder regenwormen, spelen hierin een sleutelrol (Locher & De Bakker, 1987).



Figuur 1: Vereenvoudigd beeld van het ecosysteem met daarin de grote kringlopen van voedingsstoffen (streeplijn) en energie (doorgetrokken lijn) (Locher & De Bakker, 1987).

2.1.2 Bodemonderzoeksprotocol

Project Onder het Maaiveld heeft een experimenteel bodemonderzoeksprotocol ontwikkeld om een zo breed mogelijk beeld te krijgen van de bodem in openbare ruimte. Het protocol is gericht op grasland in openbare ruimte en bestaat uit twee onderdelen: veld- en laboratoriumonderzoek. In het bijzonder gaat het om de bouwvoor van de bodem, de eerste 30 centimeter onder het maaiveld (*Figuur 2*).



Figuur 2: Illustratie van de bouwvoor. Dit omvat de eerste 30 centimeter van de bodem. Overgenomen van Steur & Heijink (1973).

In het veld word een bodemonmonster van +/- 500 gram genomen voor het laboratorium onderzoek. Dit word uitgevoerd door laboratorium organisatie Eurofins Agro. Zij meten in hun BemestingsWijzer analyse zo goed als alle mogelijke chemische-, fysische- en biologische bodemeigenschappen van het bemonsterde perceel in (k)g per hectare (*Bijlage 2*).

Vervolgens word op de samplelocatie de onverzadigde waterdoorlaatbaarheid van de bodem gemeten door te meten hoeveel minuten het de bodem kost om 500 ml water op te nemen en word er op een representatieve plek in het perceel met een spade een kluit uit de bodem gestoken om een visuele inspectie te kunnen doen. Hierin word het aantal regenwormen geteld, de doorworteling beschreven en een inschatting gemaakt van de ecologische bodemkwaliteit. Deze methodiek is gebaseerd op de "Bodembeoordeling aan de hand van een kuil" ontwikkeld door het Louis Bolk Instituut (Koopmans, Zanen & Ter Berg, 2005). Tot slot word de locatie beschreven op het gebied van leeftijd, bodem-, beheer-, en vegetatietype.

2.1.3 Prioritaire bodemkwaliteitsparameters

Binnen het ontwikkelingsproces van het bodemkwaliteitswaarderingsmechanisme van project Onder het Maaiveld zijn er een twintigtal prioritaire bodemkwaliteitsparameters aangewezen. In *Tabel 1* staan deze op volgorde weergegeven. De in het grijs aangegeven parameters worden niet gemeten in het bodemonderzoeksprotocol. Deze vereisen specifiekere metingen en zijn daarom niet meegenomen in dit onderzoek.

Tabel 1: Door project Onder het Maaiveld aangewezen prioritaire bodemkwaliteitsparameters met in de rechter kolom de zwaarte weergegeven op een schaal van 1 tot 5. De in het grijs aangegeven parameters worden niet gemeten in het bodemonderzoeksprotocol.

Prioriteit	Parameter	Eenheid	Zwaarte 1-5
1	Grondsoort	klei/zand/veen/löss	3
2	Waterdoorlaatbaarheid (onverzadigd)	l/s	5
3	Verdichting	kg/m ³	5
4	Organische stof gehalte	percentage	5
5	Zuurgraad	pH KCl	3
6	Lutumgehalte	%	3
7	N totale bodemvoorraad	kg N/ha	4
8	Zuurstofgehalte	%	4
9	Bodemtemperatuur	°C	3
10	Regenwormen dichtheid	n/m ²	4
11	Vegetatietype	vegetatietype	4
12	Doorworteling	minimaal/matig/intensief	4
13	Poriënvolume	% grondvolume	3
14	Schimmel / Bacterie ratio	ratio	5
15	C/N ratio	ratio	4
16	Leeftijd ongeroerde bodem	jaar	2
17	Bodemdieren	aantal (n)	4
18	Bodemfauna	aantal soorten	4
19	Bodemgebruik	gebruik	1
20	Nutriënten	kg/ha	1

2.2 Graslandvegetatie in Openbare Ruimte

In dit onderzoek verstaan onder 'graslandvegetatie in openbare ruimte' graslandvegetatie gelegen in openbaar toegankelijk gebied. Openbaar toegankelijk gebied, zoals gedefinieerd in artikel 1 van Bijlage II bij het Besluit omgevingsrecht (2010), omvat het volgende: *'weg als bedoeld in artikel 1, eerste lid, onder b, van de Wegenverkeerswet 1994, alsmede pleinen, parken, plantsoenen, openbaar vaarwater en ander openbaar gebied dat voor publiek algemeen toegankelijk is, met uitzondering van wegen uitsluitend bedoeld voor de ontsluiting van percelen door langzaam verkeer.'* Dit maakt dat ook groenstroken en bermen langs wegen binnen het begrip 'graslandvegetatie in openbare ruimte' vallen. Onder 'Graslandvegetatie' wordt verstaan een vegetatie die gedomineerd wordt door grassen.

2.2.1 Beheervormen van vegetatie in openbare ruimte

Zoals benoemd in *paragraaf 2.1.1* is menselijke invloed in hoge mate bepalend voor welke planten ergens van nature kunnen groeien (Koster, 2007). Op welke wijze de graslanden beheerd worden is dan ook van invloed op de aanwezige vegetatie.

In Nederland bestaan er grofweg twee vormen van groenbeheer: Regulier en Natuurlijk. 'Regulier groenbeheer' kan tegenwoordig worden gezien als traditioneel groenbeheer met ecologische grondslag (Koster, 2001). Koster (2001) beschrijft dat er in de eerste helft van de 20^e eeuw heeft een kanteling plaatsgevonden. Van het toewerken naar een zo verzorgd mogelijk beeld in het openbaar groen en privé tuinen waarbij wilde planten taboe waren en alles te allen tijde strak gesnoeid en geknipt werd, naar het juist zo veel mogelijk afstemmen van de beheermaatregelen op natuurlijke processen. 'Natuurlijk groenbeheer', als in natuurvriendelijk groenbeheer, gaat hierin nog wat verder. Hierin staat de inheemse flora en fauna meer centraal.

2.2.2 Referentiepunt bodemtoestand

De bodemtoestand onder stadsparken uit RIVM rapport *Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit* (Rutgers et al., 2007) is in dit onderzoek gezien als referentiepunt voor reguliere bodemtoestand van graslanden in openbare ruimte.

De monsterlocaties bevonden zich op graslanden of grassige terreinen binnen 14 stadsparken en gebieden met stedelijk groen. Deze locaties zijn in 2006 bemonsterd in het kader van de bodembioologische monitoring in opdracht van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) en; Directie Bodem, Water en Landelijk Gebied (BWL). In *Figuur 3* is de bodemtypering van categorie 'Stadsparken op zand' te zien.

Figuur 3: Referentie voor biologische bodemkwaliteit (RBB) voor stadsparken op zand volgens Rutgers et al. (2007).

10. Stadsparken op zand	Referentie gemiddelde (n=4)	Nederland		
		gemiddelde (n=10)	percentielen	
			5%	95%
Bacteriële biomassa (µg C/g droge grond)	107	90	52	144
Bacteriële activiteit (thy-inbouw; pmol/g.h)	44	70	35	110
Bacteriële diversiteit (aantal DNA-banden)		(ng)		
Potentiële C-mineralisatie (mg C/kg.wk)	59	73	29	103
Potentiële N-mineralisatie (mg N/kg.wk)	8.0	8.1	3.7	15.1
Functionele diversiteit (helling awcd-curve)	0.60	0.59	0.47	0.71
Functionele activiteit (µg grond/50%omz)	1277	1640	714	2985
Schimmel biomassa (µg C/g droge grond)	26	28	16	35
Nematoden dichtheid (n/100g verse grond)	2770	3694	2154	4755
Nematoden diversiteit (aantal taxa)	41	35	31	41
Potwormen dichtheid (n/m ²)	11100	15610	4100	28700
Potwormen diversiteit (aantal taxa)	13.2	13.4	8.5	18.1
Regenwormen dichtheid (n/m ²)	367	356	165	547
Regenwormen diversiteit (aantal taxa)	5.3	5.6	3.0	8.6
Micro-arthropoden dichtheid (n/m ²)	56460	30018	5600	45650
Micro-arthropoden diversiteit (aantal taxa)	26	21	16	26
Stabiliteit (allometrische M,N-regressie)		(ng)		
Biodiversiteit (integraal, aantal taxa)	86	75	67	85
Aandeel grasland (%)		(nvt)		
Veebezetting (GVE/ha)		(nvt)		
Zuurgraad (pH-KCl)	6.5	6.5	4.8	7.2
Organische stof (% droge stof)	5.0	6.0	4.0	9.6
Wateroplosbaar P (Pw, mgP ₂ O ₅ /l)	50	51	19	93
Extraheerbaar P (PAI, mg P ₂ O ₅ /100g)	52	41	17	75
Lutum (% droge stof)	6.0	7.0	2.5	15.4

2.3 Remote Sensing

Remote Sensing is een verzamelterm voor technieken die informatie verkrijgen over een object zonder dat het meetinstrument in direct contact komt met het object. Het begrip omvat zowel dataverzamelingstechnieken als data-analyse technieken. Remote sensing techniek maakt hierbij gebruik van elektromagnetische straling (Moore, 1979).

Remote sensing techniek komt voor in drie vormen: grondgebonden, lucht en satelliet (Wójtowicz, M., Wójtowicz, A. & Piekarczyk, 2016). Met behulp van sensoren bevestigd aan onder meer vliegtuigen, drones en satellieten, kan er op grote afstand grote hoeveelheden data worden ingewonnen. Deze data word vervolgens waar nodig verwerkt tot bruikbare informatie middels radiometrische-, geometrische- en atmosferische correctieberekeningen. Hierna kan de data afhankelijk van het onderwerp specifiek worden geanalyseerd middels één of meerdere indices. Het verwerken van de gecorrigeerde data gebeurt meest van tijd in Geografisch Informatie Systeem software, zoals ArcGIS, of beeldverwerkingssoftware, als ERDAS Imagine.

Er bestaan twee typen sensoren binnen remote sensing: passieve- en actieve. Passieve sensoren registreren straling die door het object zelf word uitgestraald of door een natuurlijke externe stralingsbron via het object word weerkaatst. Bij actieve sensoren zendt het meetinstrument zelf straling uit richting een object, waarna het de straling die door het object gereflecteerd word registreert. Bij het kiezen van een geschikte sensor is de ruimtelijke- en spectrale resolutie die de sensor levert van belang. De ruimtelijk resolutie bepaalt de pixelgrootte van de beelden, de spectrale resolutie bepaalt de breedte van de spectrale banden waar de sensor de reflectie van meet.

Een toepassing van Remote Sensing kan bijvoorbeeld zijn het monitoren van akkers. Hierbij maakt een drone die is uitgerust met een sensor beelden van een akker, welke vervolgens worden gecorrigeerd voor gebruik en dan kunnen worden geanalyseerd met behulp van een specifieke index. In dit geval is een index die informatie geeft over bijvoorbeeld de groei van een gewas of de aanwezigheid van schade door plaagdieren of ziekten toepasselijk (Wójtowicz, M., Wójtowicz, A. & Piekarczyk, 2016).

2.3.1 Spectrale indices

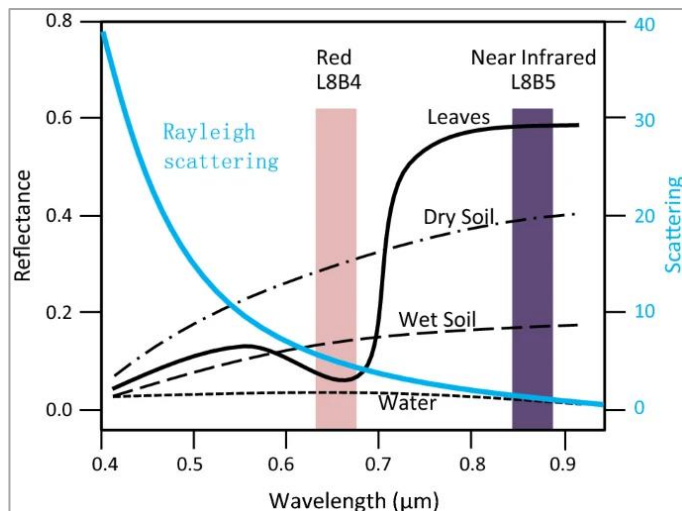
Spectrale indices, ofwel remote sensing indices, zijn combinaties van pixelwaarden van twee of meer spectrale banden van multispectraal beeldmateriaal. Ze zijn zo ontworpen dat ze een indicatie geven van een eigenschap van een object (Moore, 1979), bijvoorbeeld van gezondheid van vegetatie.

2.3.2 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) en interpretatie

De Normalized Difference Vegetation Index is één van de eerste vegetatie indexen die ontwikkeld zijn (Huang et al. 2021) en werd als eerste beschreven door Rouse et al. (1973). Vegetatie indices beschrijven de relatie tussen reflectie van elektromagnetische straling en vegetatie. De Normalized Difference Vegetation Index is instaat om middels multispectraal beeldmateriaal, snel een beeld te schetsen van vegetatie en vegetatie-stress (Huang et al., 2021). NDVI-waarden correleren met een breed scala aan vegetatiekenmerken, wat de NDVI een versimpelde weergave van het complexe geheel aan eigenschappen maakt (Huang et al., 2021).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

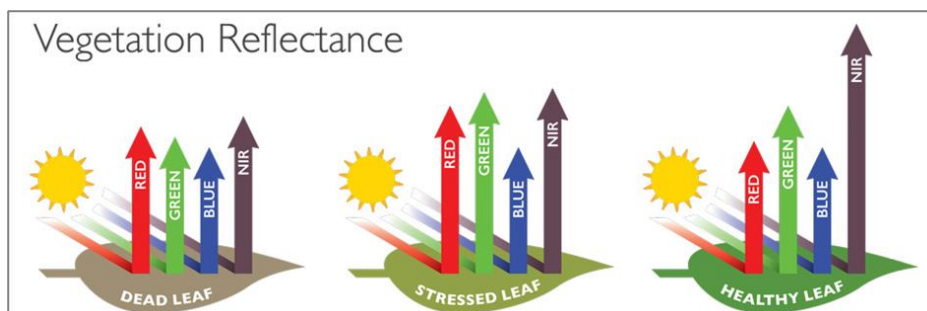
Figuur 4: Formule Normalized Difference Vegetation Index (Huang et al., 2021).



Figuur 5: Illustratie van reflectiecurves en hun intersectie met spectrale bandbreedtes rood en nabij infrarood; daarnaast is in het blauw de bandbreedte-afhankelijke 'scattering' (Huang et al., 2021).

De index maakt gebruik van rood zichtbaar licht (630-690 nm) en nabij-infrarood licht (770-890 nm); en berekent een genormaliseerd verschil tussen deze twee bandbreedtes. De berekening is gebaseerd op het principe dat chlorofyl, een sterke indicator voor vitaliteit van planten, zichtbaar licht sterk absorbeert en dat de celstructuren van bladeren nabij-infrarood licht sterk absorberen (Liew et al., 2008). Dit is te zien in *Figuur 5*. De NDVI geeft op deze manier een indicatie van de hoeveelheid chlorofyl in vegetatie en daarmee een indicatie van de vitaliteit ervan. Een grafische weergave van hoe vegetatie in verschillende gezondheidsklassen zonlicht reflecteren is te zien in *Figuur 6*.

De berekening van de NDVI (zie *Figuur 4*) resulteert in waarden tussen -1 en 1. Over het algemeen geven waterlichamen negatieve NDVI-waarden; steen-, zand- en asfaltoppervlakken NDVI-waarden dichtbij nul en vegetatie positieve NDVI-waarden volgens Huang et al. (2021). Daarnaast geldt hoe hoger de NDVI-waarde is, hoe sterker deze waarde een vitale vegetatie impliceert.



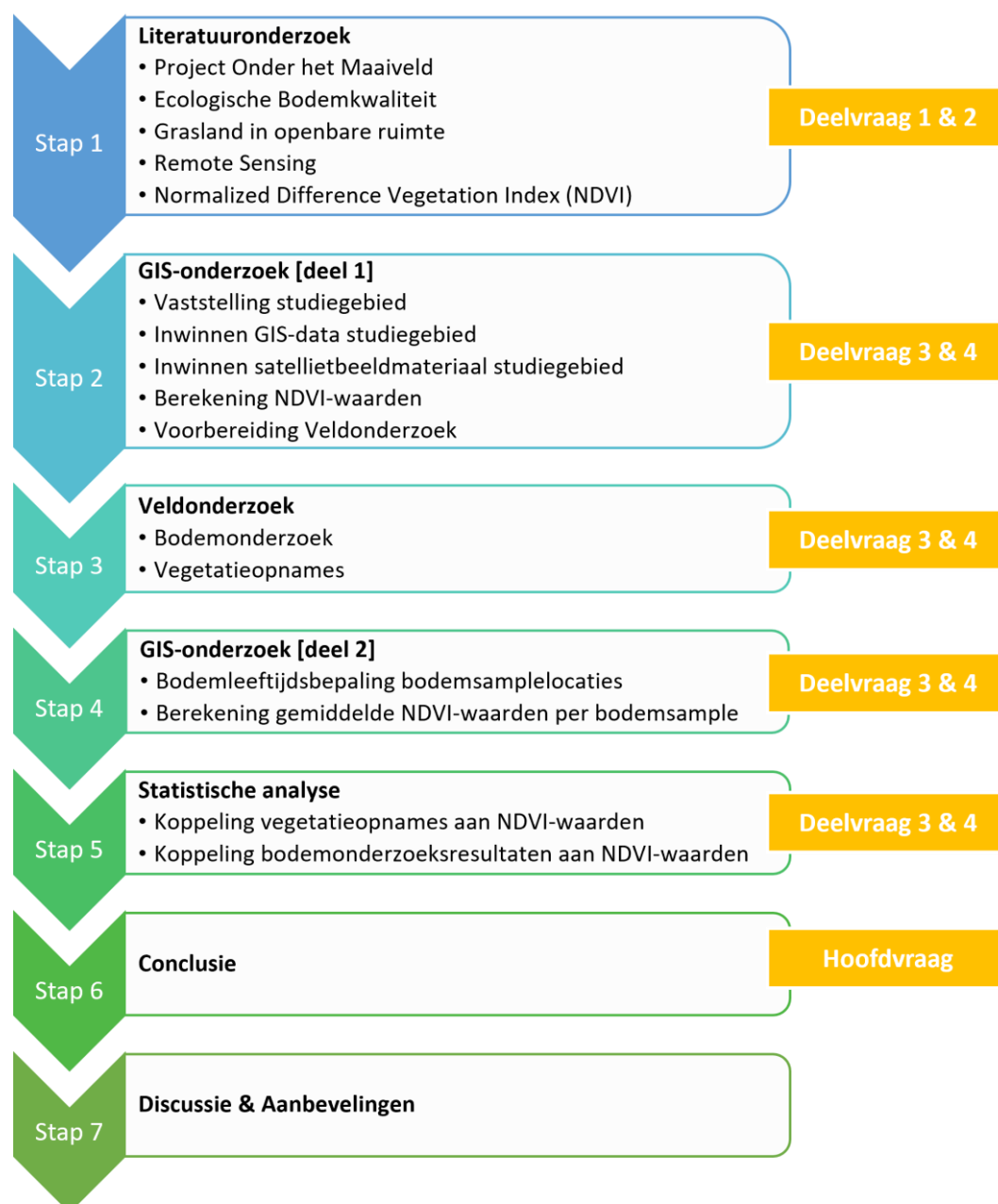
Figuur 6: Verschillen in reflectie van zonlicht vanaf vegetatie van verschillende gezondheidsklassen (Antognelli, 2018).

3 Methoden

In dit hoofdstuk staat de onderzoeksopzet en het stappenplan beschreven. De eerste paragraaf beschrijft kort de samenhang tussen de stappen, de tweede paragraaf geeft een gedetailleerde beschrijving per stap.

3.1 Onderzoeksopzet

Het onderzoek is opgebouwd uit zeven stappen. In *Figuur 7* is het onderzoeksproces schematisch weergegeven. Deelvraag 1 en 2 worden in de eerste stap beantwoord middels literatuuronderzoek, deelvraag 2 en 3 vereisen GIS-onderzoek, praktijkonderzoek en een statistische analyse en worden aan de hand van de vier daarop volgende stappen beantwoord. Na het uitvoeren van de afgelopen vijf stappen zijn de conclusie, discussie en aanbevelingen van het onderzoek opgesteld.



Figuur 7: Stappenplan onderzoeksproces.

3.2 Werkwijzen

Deze paragraaf beschrijft per stap de gemaakte keuzes en gevolgde werkwijzen, met uitzondering van stap 6 en 7. Deze laatste twee stappen voegen namelijk geen nieuwe informatie aan het onderzoek toe en vereisen dan ook geen specifieke werkwijze.

3.2.1 Literatuuronderzoek

De eerste stap, Literatuuronderzoek, omvat het theoretisch onderbouwen van het onderzoek en de beantwoording van deelvraag 1 en 2:

Deelvraag 1: “Hoe zijn NDVI-waarden volgens de literatuur het best te interpreteren?”

Deelvraag 2: “Wat is de verwachte relatie tussen ecologische bodemkwaliteit en vegetatie op basis van de literatuur?”

De onderwerpen die in het literatuuronderzoek terugkomen zijn: Project Onder het Maaiveld, ecologische bodemkwaliteit, graslandvegetatie in openbare ruimte en remote sensing. Aan de hand van de deelvragen is hierbinnen toegespitst op de relatie tussen bodem en vegetatie; en de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Literatuur over deze onderwerpen is verzameld in de bibliotheek van Hogeschool Van Hall Larenstein Velp en via Google’s zoekmachine voor wetenschappelijke literatuur Google Scholar. De bronnen zijn beoordeeld op kwaliteit, actualiteit en relevantie.

3.2.2 GIS-onderzoek [deel 1]

In de tweede stap, GIS-onderzoek [deel 1], is een studiegebied vastgesteld voor het veldonderzoek. Hiervan is GIS-data en satellietbeeldmateriaal verzameld; een berekening van de NDVI-waarden gemaakt en voorbereidend werk uitgevoerd voor het veldonderzoek. Met deze stap begint het gericht beantwoorden van de laatste twee deelvragen:

Deelvraag 3: “In hoeverre is de gemiddelde NDVI-reflectiewaarde van graslandvegetaties in openbare ruimte gerelateerd aan vegetatieopnames?”

Deelvraag 4: “In hoeverre is de gemiddelde NDVI-reflectiewaarde van graslandvegetaties in openbare ruimte gerelateerd aan veldmetingen van de ecologische bodemkwaliteit?”

Om te beginnen is er een keuze gemaakt in satellietdata. De keuze van het studiegebied hangt namelijk af van de pixelgrootte van dit beeldmateriaal. Van belang is dat de satellietdata zo gedetailleerd en geschikt mogelijk is, daarom zijn er de volgende eisen aan gesteld:

- Bevat de bandbreedten Rood [630-690 nm] en Nabij-Infrarood (NIR) [770-890 nm].
- Heeft een pixelgrootte van minder dan 5 bij 5 meter.
- Is opgenomen op een zonnige dag met geen, of tenminste zo min mogelijk, bewolking.
- Is zo recent mogelijk opgenomen.
- Is opgenomen op een moment waarin grasland in bloei staat.

Er is gekozen voor data van de Super View 2 VHR satelliet (China Siwei Surveying & Mapping Technology Co., Ltd., 2021) dat beeldmateriaal levert met een pixelgrootte van 2 bij 2 meter (ofwel, de ruimtelijke resolutie). Deze data is openbaar beschikbaar gesteld door het Netherlands Space Office (z.d.). Zij bieden deze data gebruiksklaar aan (d.w.z. radiometrisch en sensor gecorrigeerd).

Na het vaststellen van de satelliet data is het studiegebied gekozen. De keuze van het studiegebied is gebaseerd op homogeniteit in grondsoort en de aanwezigheid van grote oppervlakten aan graslandvegetatie waaronder zich zowel terreinen bevinden die op reguliere wijze worden beheerd als terreinen die op ecologische wijze worden beheerd. Grote oppervlakten aan graslandvegetatie zijn van belang om bruikbare satellietbeeldpixels te kunnen garanderen voor het GIS-onderzoek. Daarom is de eis gesteld dat het gebied tenminste tien percelen graslandvegetatie bevat die tenminste éénmaal het oppervlak beslaan van een pixel uit het gekozen satellietbeeldmateriaal. Er is gekozen voor het campusterrein van Wageningen Universiteit.

Vervolgens is over het satellietbeeldmateriaal de berekening van de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) uitgevoerd (Zie *paragraaf 2.3.2*). Dit is gedaan in ArcMap (Esri, 2019) middels de tool *Raster Calculator* uit de *Spatial Analyst* toolbox. Van het satellietbeeld zijn hierin de bandbreedtes Rood en Nabij-Infrarood (NIR) gebruikt. De berekening van de NDVI als expressie in de *Raster Calculator* is te zien in *Figuur 8*. De NDVI-waarden zijn hierna verwerkt in een kaart.

Raster Calculator expressie:

```
Float( "%20210908_112349_SV1-02_SV_RD_11bit_RGBI_200cm_Rhenen.tif - SuperView-1 NIR (0.77 - 0.89) um%"
- "%20210908_112349_SV1-02_SV_RD_11bit_RGBI_200cm_Rhenen.tif - SuperView-1 Red (0.63 - 0.69) um%" ) /
Float( "%20210908_112349_SV1-02_SV_RD_11bit_RGBI_200cm_Rhenen.tif - SuperView-1 NIR (0.77 - 0.89) um%"
+ "%20210908_112349_SV1-02_SV_RD_11bit_RGBI_200cm_Rhenen.tif - SuperView-1 Red (0.63 - 0.69) um%" )
```

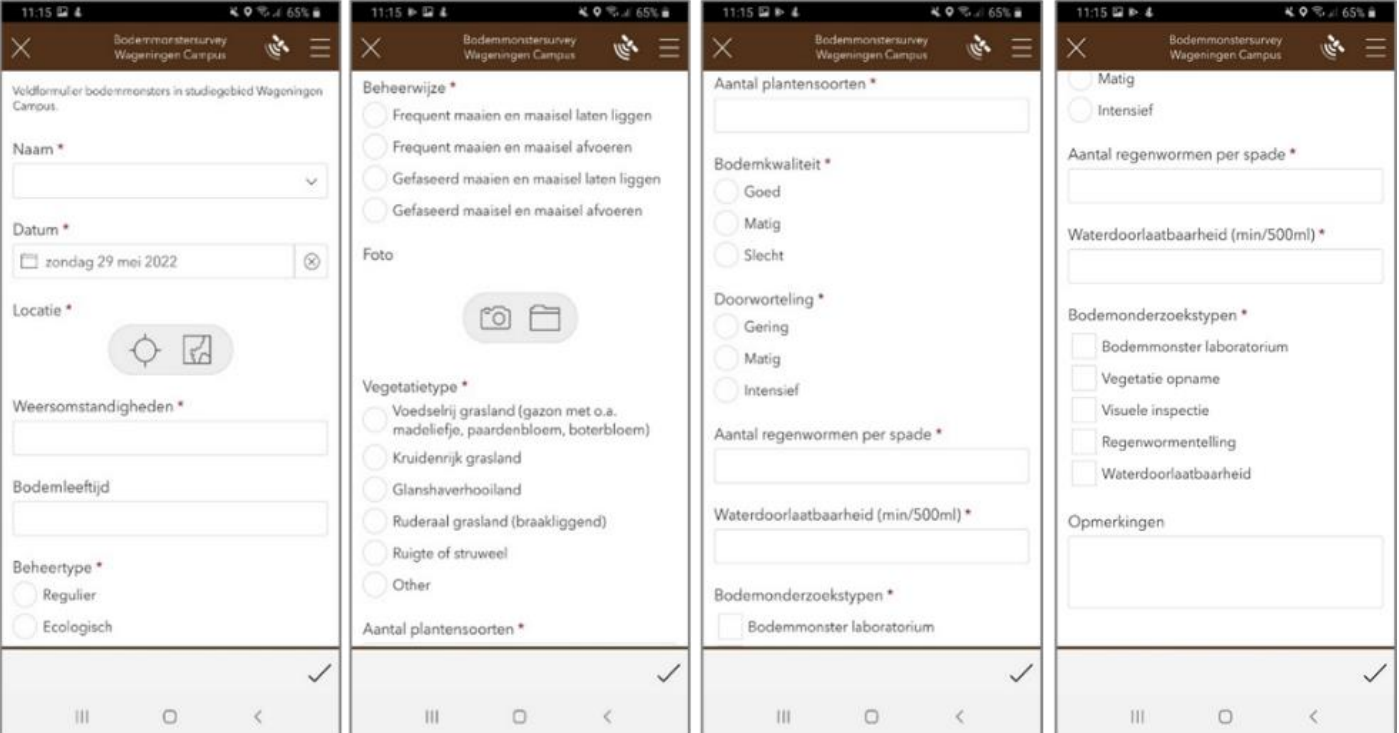
Figuur 8: Raster Calculator expressie NDVI berekening.

Om context te geven aan de bodemsamples is er vervolgens GIS-data met topografische informatie en relevante fysische achtergrondinformatie verzameld over het studiegebied. Hieronder is beschouwd gegevens over de hoogteligging, geomorfologie, grondsoort, bodemtypen, kwel- en infiltratie situatie en het grondwater. De data is verzameld middels het ArcGIS Online dataportaal in ArcMap (Esri, 2019). Vervolgens is het verwerkt tot bruikbare kaarten in ArcMap (Esri, 2019).

Tot slot zijn er ter voorbereiding op het veldonderzoek zijn er in ArcMap (Esri, 2019) potentieel geschikte samplelocaties ingetekend op een kaart en gepubliceerd in mobiele applicatie Field Maps (Esri, 2022-b). Onder potentieel geschikt is verstaan dat deze punten binnen een straal van tenminste één maal de pixelgrootte van het satellietbeeldmateriaal zijn omringd met enkel graslandvegetatie. Ook is er een veldwerkformulier opgesteld en gepubliceerd in mobiele applicatie Survey123 (Esri, 2022-a), om de gegevensverzameling en -verwerking te vergemakkelijken.

Het mobiele veldwerkformulier is te zien in *Figuur 9*. Het formulier omvat de vragenlijst uit het bodemprotocol van project Onder het Maaiveld (zie *paragraaf 2.1.2*) met daaraan toegevoegd het noteren van de weersomstandigheden en een checklist van de verschillende activiteiten die het bodemonderzoek omvat. Het gaat daarbij om de volgende activiteiten:

- Bodemonsternamen Eurofins
- Vegetatieopname grasland
- Visuele inspectie van kluut 20x20x20cm
- Regenwormtelling kluut 20x20x20cm
- Waterdoorlaatbaarheidstest



Figuur 9: Veldwerkformulier opgesteld in Survey123 (Esri, 2022-a).

3.2.3 Veldonderzoek

Stap drie omvat het verzamelen van de veldgegevens in het studiegebied: het nemen van bodemsamples en het maken van vegetatieopnames. De bodemgegevens zijn verzameld aan de hand van het bodemonderzoeksprotocol van project Onder het Maaiveld, welke beschreven staat in *paragraaf 2.1.2*. De achtergrondinformatie is vastgelegd in het voorbereide veldformulier op de mobiele applicatie Survey123 (Esri, 2022-a). Het onderzoek levert informatie op over de volgende prioritaire bodemparameters volgens project Onder het Maaiveld (Zie *paragraaf 2.1.3*):

- Waterdoorlaatbaarheid [0,5L/s]
- Verdichting [kg/m^3]
- Organische stof gehalte [%]
- Zuurgraad [pH KCL]
- Lutumgehalte [%]
- N-totale bodemvoorraad [kg/ha]
- Aantal regenwormen [n]
- Doorworteling [minimaal/matig/intensief]
- Schimmel/bacterie ratio [ratio]
- C/N ratio [ratio]
- Nutriënten [kg/ha]

Bij het veldonderzoek zijn de volgende materialen gebruikt:

- Mobiele telefoon (mobiele applicaties Survey123 (Esri, 2022-a) en Field Maps (Esri, 2022-b); en stopwatchfunctie)
- Edelmanboor
- Spade
- Bodemsamplezakken Eurofins
- 0,5 liter water per bodemsample
- Notitieblok en schrijfwaren
- Flora van Nederland (Van der Meijden, 2005)

Er is gekozen voor het maken van eenvoudige vegetatieopnames. Per bodemsamplelocatie is het graslandvegetatietype op hoofdlijn bepaald: voedselrijk of kruidenrijk. Tot slot is het aantal plantensoorten geïnventariseerd, met als doel om het aantal plantensoorten [n] te achterhalen. Het onderzoek levert informatie op over de volgende prioritaire bodemparameters volgens project Onder het Maaiveld (Zie *paragraaf 2.1.2* en *2.1.3*):

- Vegetatietype [voedselrijk/kruidenrijk]
- Bodemgebruik [ecologisch beheer/regulier beheer]
- Aantal plantensoorten [n]

Het veldonderzoek heeft plaatsgevonden op 9 en 10 mei 2022. In het veld bleek een aantal van de vooraf aangewezen potentiële bodemsamplelocaties ongeschikt. Hier werd ten tijde van het veldbezoek gebouwd, lag het terrein volledig braak of bleek het gebied zeer recent opnieuw te zijn ingezaaid. Er is ter vervanging van deze locaties ter plaatse gezocht naar een nieuwe locatie. Uiteindelijk hebben er twee veldbezoeken plaatsgevonden waarin een totaal van 13 bodemsamples zijn genomen. Hiervan worden er 7 op reguliere wijze beheerd en 6 op ecologische wijze.

3.2.4 GIS-onderzoek [deel 2]

Na het verzamelen van veldgegevens is in stap 4 de gemiddelde NDVI-waarde en de bodemleeftijd van de bodemsamplelocaties bepaald. Hierna is de informatie over alle bodemsamples bijeengebracht in één Exceltabel en is deze informatie aangevuld met informatie uit stap twee, GIS-onderzoek [deel 1].

Een hypothese binnen project Onder het Maaiveld is “Hoe ouder de bodem is, hoe beter de bodemkwaliteit over het algemeen is.” (A. Vliegthart, persoonlijke communicatie, 23 februari 2022). Er is in dit onderzoek daarom nagegaan wat de bodemleeftijd van de bouwvoor op de bodemsamplelocaties is. Hieronder word verstaan de tijd in jaren dat de bouwvoor niet is bewerkt.

De bodemleeftijd is achterhaald middels analyse van historisch luchtbeeldmateriaal in Topotijdreis (Kadaster, 2015), waarin het jaartal van laatste grondbewerking is vastgesteld. Vervolgens is luchtbeeldmateriaal van het betreffende jaartal ingeladen in ArcMap (Esri, 2019) middels het dataportaal van ArcGIS Online en verwerkt tot figuren waarop de bodemsamples en de daaromheen ingetekende percelen te zien zijn ter onderbouwing van de bodemleeftijd. Deze percelen zijn om de bodempunten ingetekend met als doel zo veel mogelijk van de graslandvegetatie te bevatten zonder pixels te raken die niet alleen graslandvegetatie bevatten.

De gemiddelde NDVI-waarde per bodemsamplepunt is berekend volgens een vooraf opgestelde GIS-workflow (zie *Figuur 10*). Het berekenen van de gemiddelde NDVI-waarde per bodemsamplepunt, inclusief het berekenen van de NDVI-waarden (zie *paragraaf 2.3.2* en *Figuur 8*), is binnen ArcMap (Esri, 2019) in een tool vastgelegd met behulp van het ModelBuilder venster. Een schematische weergave hiervan is in te zien in *Bijlage 1*, hierin is het proces ook grafisch weergegeven op kaartmateriaal.

GIS-workflow gemiddelde NDVI berekening

1. Exporteren van de definitieve bodemsamplelocaties uit Survey123 omgeving ArcGIS Online.
2. Bodemsamplelocaties inladen in ArcMap.
3. Inladen satellietbeeld in Rood, Groen en Blauw samenstelling in ArcMap
4. Handmatig intekenen percelen rondom de bodemsamplepunten die alleen graslandvegetatie bevatten. Ieder perceel krijgt de naam van het bijbehorende bodemsamplepunt.
5. Rasterdata met de NDVI-waarden inladen in ArcMap (gemaakt in GIS-onderzoek [deel 1])
6. Uitsnede maken van het NDVI-raster voor ieder perceel middels *Spatial Analyst* tool *Extract by mask*.

Instellingen tool:

Input raster = NDVI-raster

Input raster or feature mask data = Polygon bestand van handgetekende percelen

7. Gemiddelde NDVI waarde berekenen per perceel middels *Spatial Analyst* tool *Zonal Statistics*.

Instellingen tool:

Input raster or feature zone data = Polygon bestand van handgetekende percelen

Zone field: = Kolom van bodemsamplepuntnamen

Input value raster = Uitgesneden NDVI-raster

Statistics type = MEAN

8. Gemiddelde NDVI waarde berekenen per perceel middels *Spatial Analyst* tool *Zonal Statistics as Table*. Hiervoor zijn dezelfde instellingen gebruikt als bij stap 6.

9. Output *Zonal Statistics as Table* tool exporteren als Exceltabel middels *Conversion* tool *Table to Excel*.

Figuur 10: GIS-workflow gemiddelde NDVI-berekening.

3.2.5 Statistische analyse

Stap 5 omvat de statistische berekeningen over de verzamelde gegevens. Om de data beter te begrijpen is er beschrijvende statistiek toegepast, vervolgens zijn er verschillende statistische toetsen gebruikt om inzicht te verkrijgen in de relatie tussen de gegevens.

De beschrijvende statistische berekening over de NDVI-waarden zijn uitgevoerd in ArcMap (Esri, 2019) middels de *Spatial Analyst* tool *Zonal Statistics as Table*, de overige beschrijvende berekeningen zijn uitgevoerd in SPSS (IBM Corporation, 2019) middels de *Descriptives* berekening in het *Descriptive Statistics* menu. Met deze berekeningen zijn de minimumwaarde, maximumwaarde, standaarddeviatie en het gemiddelde van de gegevens berekend.

De dataset bevat zowel scale-, nominal- en ordinal-variabelen. Dit is te zien in *Tabel 2*. In SPSS (IBM Corporation, 2019) zijn er daarom drie verschillende typen statistische toetsen gebruikt: *Linear Regression*, *One-Way ANOVA* en *Chi-square Test*. Met een lineaire regressie berekening zijn de scale variabelen tegenover elkaar gezet, met de One-Way ANOVA de scale tegenover nominal of ordinal variabelen en een Chi-square Test wanneer de variabelen beide van het type nominal of ordinal zijn. Hiermee is de significantie van de relatie tussen de gemiddelde NDVI-waarden en de gegevens uit het veld- en GIS-onderzoek berekend; en de significantie tussen het aantal plantensoorten per bodemsample en de gegevens uit het veld- en GIS-onderzoek berekend.

Statistisch significante resultaten hebben doorgaans een p-waarde (ofwel, kanswaarde) van 0.05 (5%) of kleiner. Ook in dit onderzoek is het significantieniveau op 0.05 vastgelegd. Bij een resultaat met een p-waarde van 0.05 is de kans 5% dat het resultaat op toeval berust. Hoe lager de p-waarde is, hoe hoger de significantie en andersom. De nulhypothese (H_0) geeft de voorspelling aan dat er geen relatie bestaat tussen groepen of variabelen. Daar tegenover staat de alternatieve hypothese (H_1) die aangeeft dat er een relatie bestaat tussen groepen of variabelen. In *Figuur 11* zijn de hypothesen die zijn gehanteerd in dit onderzoek.

Aangezien de berekeningen zijn uitgevoerd over data van een kleine groep bodemsamplepunten ($N = 13$) is ervoor gekozen om naast het significantieniveau 0.05 ook de resultaten met een significantieniveau van 0.20 in het onderzoek onder de aandacht te brengen. Dit is gedaan om beter richting te kunnen geven aan eventueel vervolgonderzoek. Tot slot zijn er scatterplots en histogrammen geëxporteerd uit SPSS van de resultaten met een significantie van 0.05 of 0.20. Dit is gedaan om de resultaten beter te begrijpen. Op deze manier zijn de eventuele afwijkingen of opvallendheden in de data namelijk inzichtelijk.

Tabel 2: Opsomming van variabelen die beschikbaar zijn voor de statistische analyse gekoppeld aan de bijbehorende stap uit het stappenplan (zie Figuur 7). * = Parameters aanvullend op de prioritaire parameters van project Onder het Maaiveld.

Variabelen			
Stap	Parameter	Eenheid	Type Variabele
2 GIS-onderzoek [deel 1]	Beheertype	Regulier/ecologisch	Nominal
3 Veldonderzoek	Bodemdichtheid	Kg/m ³	Scale
3 Veldonderzoek	Doorworteling	Minimaal/matig/intensief	Ordinal
3 Veldonderzoek	Aantal regenwormen	n	Scale
3 Veldonderzoek	Bacteriële biomassa*	mg C/kg	Scale
3 Veldonderzoek	C/N ratio	Ratio	Scale
3 Veldonderzoek	Lutumgehalte	%	Scale
3 Veldonderzoek	Nutriënten [N, S, P, K, Ca, Mg, Na]	Kg/ha	Scale
3 Veldonderzoek	Organisch stof gehalte	%	Scale
3 Veldonderzoek	Schimmel biomassa*	mg C/kg	Scale
3 Veldonderzoek	Schimmels/Bacteriën ratio	Ratio	Scale
3 Veldonderzoek	Waterdoorlaatbaarheid (onverzadigd)	0,5L/seconde	Scale
3 Veldonderzoek	Zuurgraad	pH KCl	Scale
3 Veldonderzoek	Stuifgevoeligheid*	Rapportcijfer	Ordinal
3 Veldonderzoek	Verkruijmbaarheid*	Rapportcijfer	Ordinal
3 Veldonderzoek	Verslumping*	Rapportcijfer	Ordinal
3 Veldonderzoek	Aantal plantensoorten*	Aantal (n)	Scale
3 Veldonderzoek	Vegetatietype	Voedselrijk/kruidenrijk	Nominal
4 GIS-Onderzoek [deel 2]	Bodemleeftijd	Aantal jaar	Scale
4 GIS-Onderzoek [deel 2]	Bodemtype*	Volgens STIBOKA	Nominaal
4 GIS-Onderzoek [deel 2]	Grondsoort	klei/zand/veen/löss	Nominal

Hypothesen teststatistiek
Deelvraag 3: “In hoeverre is de gemiddelde NDVI-reflectiewaarde van graslandvegetaties in openbare ruimte gerelateerd aan vegetatieopnames?” Nulhypothese (H_0) = Er bestaat geen relatie tussen de gemiddelde NDVI-waarde en vegetatiekenmerken. Alternatieve hypothese (H_1) = Er bestaat een relatie tussen de gemiddelde NDVI-waarde en vegetatiekenmerken. Deelvraag 4: “In hoeverre is de gemiddelde NDVI-reflectiewaarde van graslandvegetaties in openbare ruimte gerelateerd aan veldmetingen van de ecologische bodemkwaliteit?” Nulhypothese (H_0) = Er bestaat geen relatie tussen de gemiddelde NDVI-waarde en bodemeigenschappen. Alternatieve hypothese (H_1) = Er bestaat een relatie tussen de gemiddelde NDVI-waarde en bodemeigenschappen.

Figuur 11: Per deelvraag de hypothesen bij de verschillende statistische berekeningen.

4 Resultaten

Dit hoofdstuk presenteert de resultaten van het onderzoek. Paragraaf 4.1 beschrijft de relevante achtergrondinformatie van de bodemsamples, paragraaf 4.2 de resultaten van de berekeningen van de Normalized Difference Vegetation Index, vervolgens komen in paragraaf 4.3 de resultaten van de vegetatieopnames en de relatie tussen deze resultaten en de gemiddelde NDVI-waarden aan bod; en tot slot in paragraaf 4.4 de resultaten van het bodemonderzoek en de relatie tussen deze resultaten en de gemiddelde NDVI-waarden.

4.1 Achtergrondinformatie

In deze paragraaf wordt de achtergrondinformatie van de bodemsamples beschreven. In het eerste onderdeel komt de topografische ligging aan bod, in het tweede onderdeel de geomorfologie, grondsoort en bodemtypen binnen het studiegebied, in het derde onderdeel de bodemleeftijd van de bouwvoor en in het laatste onderdeel het vegetatiebeheer binnen het studiegebied.

4.1.1 Topografie

Het studiegebied van dit onderzoek is Wageningen Campus. Dit gebied bevindt zich binnen de bebouwde kom van de stad Wageningen, aan de noordzijde. Wageningen is gelegen in de provincie Gelderland in het zuiden van de Gelderse Vallei en ligt aan de rivier de Nederrijn. Tot de Wageningen Campus behoren de gebouwen van Wageningen University & Research (WUR) en het Business & Science Park Wageningen (BSPW), de begrenzing van het gebied is te zien in *Bijlage 5*.

De campus is een bruisend gebied dat is ingericht als ontmoetingsplek voor onderzoekers, studenten en ondernemers. De ruimte tussen alle faciliteiten van de aanwezige kennisorganisaties, onderwijsinstellingen, bedrijfsleven en starters dient tegelijkertijd als verbindingszone. Een impressie van het gebied is te zien in *Figuur 12*.

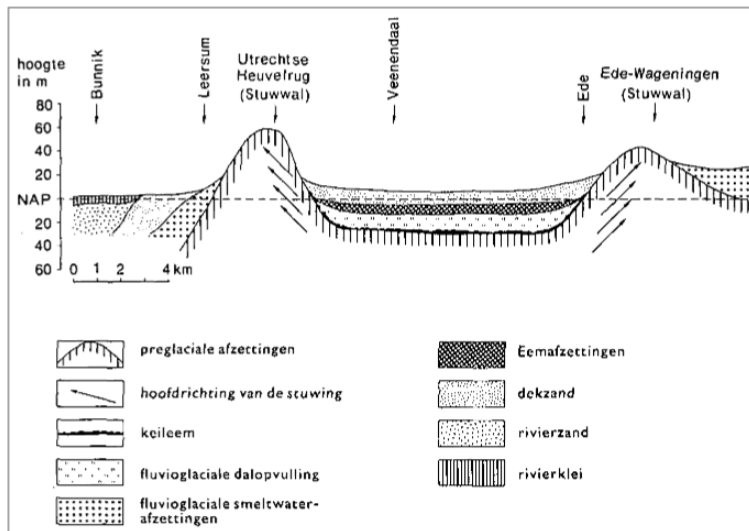
Het stedelijke karakter, recreatief gebruik, de toepassing van verschillende vormen van groenbeheer en de omvangrijke grasvelden maken Wageningen Campus tot een geschikt studiegebied voor dit onderzoek. In *Bijlage 5* zijn de bodemsamplelocaties te zien, onderverdeeld op vegetatiebeheertype.



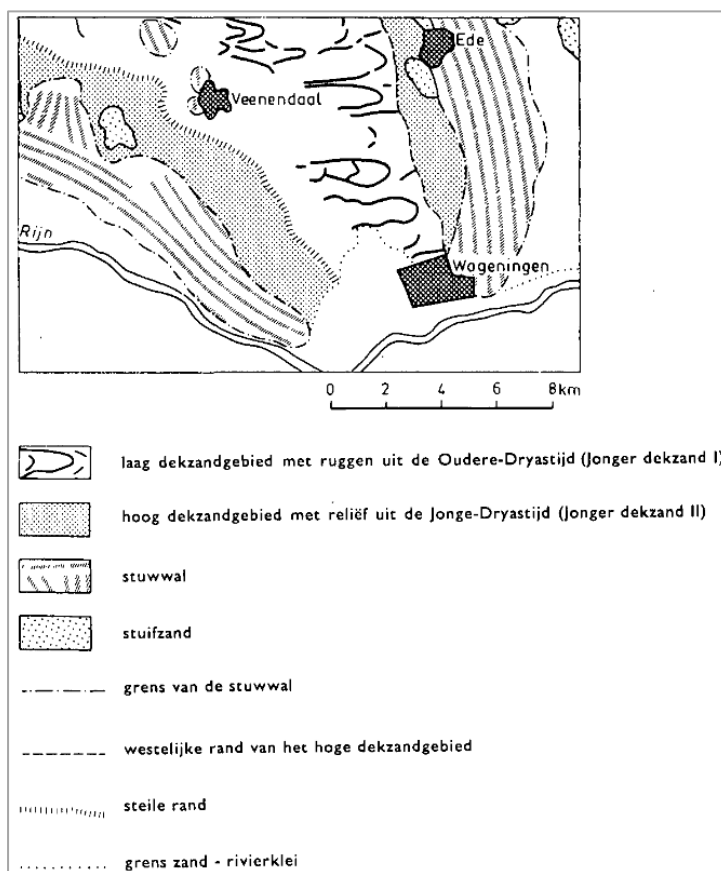
Figuur 12: Impressie van het Wageningen Campus terrein (Wageningen Campus, z.d.).

4.1.2 Geomorfologie, bodemtype en waterhuishouding

Het studiegebied bevindt zich in het zuiden van de Gelderse Vallei aan de rand van de stuwwal die zich tussen Ede en Wageningen uitstrekt (Zie *Figuur 14*). De overgang van stuwwal naar vallei is zichtbaar in de hoogtegegevens van het gebied welke te zien zijn in *Bijlage 6*. Deze situatie is ook terug te zien in de geomorfologische kaart (zie *Bijlage 7*) en aan de overheersende grondsoort van het gebied: (Dek)zand. De grondsoort van het gebied is bevestigd op de grondsoortenkaart, te zien in *Bijlage 8*, en te zien in de illustratie in *Figuur 13*.



Figuur 13: Illustratie van de Gelderse Vallei en de zich daar bevindende stuwwallen. Overgenomen van Steur & Heijink (1973).



Figuur 14: Globale doorsnede door het zuidelijke deel van de Gelderse Vallei met daarop de ligging van steden Veenendaal, Ede en Wageningen. Overgenomen van Steur & Heijink (1973).

In *Bijlage 9* is te zien welke variatie aan bodemtypen er binnen de grondsoort heerst. Binnen het studiegebied komen volgens de Bodemkaart van Nederland 50:000 (Wageningen Environmental Research, 2017) drie bodemtypen voor. Het gaat om beekoordgronden met lemig fijn zand (pZg23), gooreerdgronden met lemig fijn zand (pZn23) en een combinatie van beekoord- en veldpodzolgronden met leemarm- en zwak lemig fijn zand (Hn21/pZg23). Bodemtype pZg23 beslaat het grootste oppervlak.

Beekoordgronden bestaan volgens Koopmans, Bokhorst, Ter Berg & Van Eekeren (2007) uit twee verschillende lagen. Een humusrijke bovengrond die scherp over gaat in een ondergrond van humusarm zand. Gooreerdgronden zijn eerdgronden die zijn gelegen in vochtige laagten. In dit geval in de laagten van dekzandwelvingen, zoals zichtbaar is in *Bijlage 7*. Ze zijn net als veldpodzolen (zoals Hn21) ontstaan onder sterke invloed van water (Herber, 2022).

Dat het gebied onder invloed staat van water word bevestigd door de aanwezigheid van kwel- en infiltratie, zoals te zien in *Bijlage 11*. Er is sprake van sterke kwelaanvoer van meer dan 2 mm per dag in het centrum van het campusterrein, wat zich richting de randen van het gebied afzwakt. Op de stuwwal is juist sprake van enige tot sterke infiltratie. Ook aan de hand van grondwatertrappen (te zien in *Bijlage 10*) is de invloed van het water in de bodem zichtbaar aan de hoge grondwaterstanden in het gebied waar de gooreerdgronden zich bevinden.

In het gebiedsdeel dat bodemtype Hn21/pZg23 bevat is er sprake van geweest van diepe bewerking ten tijde van de ontginning, waardoor de ondergrond officieel niet meer als podzolgrond kan worden beschouwd (Koopmans, Bokhorst, Ter Berg & Van Eekeren, 2007). Volgens Koopmans et al. (2007) Kan er vanuit gegaan worden dat de humusinspoelingslaag, die kenmerkend is voor een podzolgrond, geheel door de bovengrond is vermengd. Dit resulteert in een bodem die in natte omstandigheden kleverig is, bij droogte juist verstuvingsgevoelig is en een vaak moeilijk doorwortelbare ondergrond heeft.

4.1.3 Bodemleeftijd

De bodem in openbare ruimte word relatief regelmatig bewerkt, zo ook op de bodemsamplelocaties in dit onderzoek. *Tabel 3* geeft per sample het jaartal aan waarin de bodem voor het laatst is bewerkt en daarbij de leeftijd van de bodem tot op heden. Met bodemleeftijd word in dit onderzoek bedoeld op de bodemleeftijd van de bouwvoor.

In *Bijlage 4* zijn de luchtfoto's opgenomen van ieder bodemsample in het jaartal waarin de laatste grondbewerking heeft plaatsgevonden. Op de foto's is te zien dat er recent bouw- of aanlegwerkzaamheden hebben plaatsgevonden op de percelen waarop de bodemsamples genomen zijn. Het is aannemelijk dat deze grondbewerkingen zijn gelinkt aan bouw- en aanlegwerkzaamheden van één of meerdere van de omliggende gebouwen (Zie *Bijlage 5*). Van bodemsamples C_Alterra_tuin_02 t/m _05, gelegen in de Lumen Natuurtuin is bekend dat het perceel is aangelegd in 1998 (Facilitair Bedrijf WUR, 2019).

Uit de beschrijvende statistische berekeningen (zie *Tabel 4*) is naar voren gekomen dat de gemiddelde bodemleeftijd van de bodemsamplelocaties 16 jaar is. Er is echter een relatief grote standaarddeviatie (6). De oudste bodemsamples zijn 24 jaar oud, de jongste 6 jaar oud.

Tabel 3: Resultaten van het bodemleeftijdsonderzoek.

Bodemsample	Jaartal van laatste grondbewerking	Bodemleeftijd (jaren)
C Actio_01	2013	9
C Alterra_tuin_02	1998	24
C Alterra_tuin_03	1998	24
C Alterra_tuin_04	1998	24
C Alterra_tuin_05	1998	24
C Atlas_01	2007	15
C Forum_01	2007	15
C NIOO_03	2011	11
C NIOO_04	2011	11
C Orion_01	2007	15
C Orion_02	2007	15
C Zodiac_01	2007	15
C Zodiac_02	2016	6

Tabel 4: Beschrijvende statistiek bodemleeftijd.

Descriptive Statistics bodemleeftijd					
	N	Minimum	Maximum	Gemiddelde	Std. Deviatie
Bodemleeftijd	13	6	24	16,00	6,19

4.1.4 Vegetatie en beheer

Het Wageningen Campus terrein is een openbare ruimte met een groot aantal groencomponenten. Het geheel van weides, heesterbeplantingen, laanbeplantingen, houwallen en vijvers geven het centrale deel van het gebied een parkachtig karakter. Deze gebieden worden volgens de groenvisie van het gebied (Facilitair Bedrijf WUR, 2019) intensief gebruikt en bevatten bloemrijke (sier)beplantingen met een natuurlijke uitstraling. Hier zijn de bodemsamples gesitueerd die op reguliere wijze worden beheerd. Om openheid en ruimte voor ontmoeting te creëren worden de graslanden in dit gebied onderhouden als gazon volgens het Integraal groenplan Wageningen Campus (Wageningen Campus, 2016). Enkel rond de vijvers word maar eenmaal per jaar gemaaid. De gazons worden overigens niet bespoten, bemest of besproeid.

Aan de rustigere randen van het gebied zijn de groencomponenten meer ingericht als bloemenweides en ecologische verbindingzones voor inheemse flora en fauna. Op deze plekken word zo veel mogelijk rekening gehouden met natuur en biodiversiteit. Daarnaast zijn er percelen ingericht als natuurtuinen, zoals de Lumen natuurtuin (voormalig Alterra Natuurtuin) (Facilitair Bedrijf WUR, 2019). Dit terrein bevat natuurlijk, soortenrijk grasland dat niet betreedt word. Het terrein van het Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO) in het oosten van het campusterrein word op ecologische wijze beheerd (A. Vliegthart, persoonlijke communicatie, 23 februari 2022). Hierbij is ruimte gegeven aan inheemse flora en fauna. Verdeeld over deze twee locaties zijn de bodemsamples gesitueerd die op ecologische wijze beheerd worden. Het beheer van deze locaties is vastgelegd in specifieke beheerplannen (Facilitair Bedrijf WUR, 2019).

Het type beheer dat toegepast word op een grasland is van invloed op de vegetatie, welke weer van invloed is op de bodem (zie *paragraaf 2.2.1*). De ene helft van de bodemsamples is genomen op ecologisch beheerd grasland, de ander helft op regulier beheerd grasland. Op de topografische kaart (*Bijlage 5*) is te zien waar deze bodemsamples liggen en tot welk beheertype ze behoren.

4.2 Berekeningen Normalized Difference Vegetation Index

Deze paragraaf beschrijft de resultaten van de berekende NDVI-waardenberekeningen. Het eerste onderdeel beschrijft de NDVI-waarden binnen het studiegebied, het tweede de gemiddelde NDVI-waarden per bodemsample.

4.2.1 NDVI-waarden studiegebied

Het resultaat van de NDVI-waardenberekening over het studiegebied is te zien in *Bijlage 12*. Wanneer de topografische kaart (*Bijlage 5*) wordt vergeleken met het beeld van NDVI-waarden (*Bijlage 12*) is duidelijk te zien dat de NDVI-waarden tussen -1,0 en 0,3 overeenkomen met de gebouwen en bestrating; en dat NDVI-waarden tussen 0,4 en 1 duidelijk vegetatie weergeven. Daarvan zijn NDVI-waarden tussen de 0,4 en 0,7 voornamelijk te beschrijven als gras of ruigte en waarden tussen de 0,7 en 0,9 te als bos of bosschages. NDVI-waarden tussen 0,3 en 0,4 zijn te beschrijven als een grenszone tussen bebouwing en vegetatie, sportvelden met kunstgras, smalle verharde paden of met vegetatie bedekte daken. De NDVI-waarden lijken daarmee wat hoger uit te vallen dan dat de literatuur beschrijft (zie *paragraaf 4.4.2*).

Uit de beschrijvende statistische berekeningen (zie *Tabel 5*) is op te maken dat de kleinste NDVI-waarde binnen het studiegebied -0,09 is en de hoogste 0,81. In totaal is de NDVI berekend over 223488 pixels van 2 bij 2 meter groot, welke samen een oppervlakte van 893.952 m² beslaan. De gemiddelde NDVI-waarde van het studiegebied is 0,38 en een standaarddeviatie van 0,23.

Tabel 5: Beschrijvende statistiek NDVI-waarden studiegebied.

Descriptive Statistics NDVI-waarden studiegebied						
	N	Oppervlakte [m ²]	Minimum	Maximum	Gemiddelde	Std. Deviatie
NDVI-waarden	223488	893.952	-0,09	0,81	0,38	0,23

4.2.2 Gemiddelde NDVI-waarde per bodemsample

In *Tabel 6* staan de gemiddelde NDVI-waarden per bodemsample weergegeven. In *Bijlage 13* zijn de gemiddelde NDVI-waarden per bodemsample op kaart weergegeven. Uit de beschrijvende statistische berekeningen (zie *Tabel 7*) valt op dat de gemiddelde NDVI-waarde van de bodemsamples onderling bijna niet van elkaar verschillen. In *Tabel 7* is dit te zien aan de standaarddeviatie van 0,04. Verder is de laagste gemiddelde NDVI-waarde is 0,55 en de hoogste 0,67. Gemiddeld komt de gemiddelde NDVI-waarde per bodemsample neer op 0,62.

Tabel 6: Gemiddelde NDVI-waarden van de graslandvegetatie bij de bodemsamplepunten.

Naam	Pixels [n]	Oppervlak [m ²]	Gemiddelde NDVI
C_Actio_01	165	660	0,67
C_Zodiac_01	134	536	0,62
C_Zodiac_02	82	328	0,62
C_Forum_01	32	128	0,64
C_Orion_01	365	1460	0,61
C_Orion_02	127	508	0,56
C_Atlas_01	138	552	0,63
C_NIOO_04	60	240	0,64
C_NIOO_03	29	116	0,55
C_Alterra_tuin_02	17	68	0,66
C_Alterra_tuin_05	32	128	0,61
C_Alterra_tuin_03	164	656	0,63
C_Alterra_tuin_04	60	240	0,66

Tabel 7: Beschrijvende statistiek gemiddelde NDVI-waarden.

Descriptive Statistics gemiddelde NDVI-waarde					
	N	Minimum	Maximum	Gemiddelde	Std. Deviatie
Gemiddelde NDVI-waarde	13	0,55	0,67	0,62	0,04

4.3 Koppeling NDVI-waarden en vegetatie

Deze paragraaf beschrijft de resultaten van de vegetatieopnames en de koppeling ervan met de gemiddelde NDVI-waarden. Tot slot volgt een conclusie op deelvraag 3.

4.3.1 Vegetatieopnames

Het bodemonderzoek heeft informatie opgeleverd over het vegetatietype op hoofdlijn en het aantal plantensoorten in de graslandvegetatie van de 13 bodemsamplepunten. Deze resultaten zijn in *Bijlage 14* met een donkergroene kleur aangegeven. De vegetatieopnames inclusief foto zijn opgenomen in *Bijlage 3*.

Van de bodemsamplelocaties zijn er 7 op reguliere wijze beheerd en 6 op ecologische wijze (zie paragraaf 2.2.1 en 4.1.4), dit is te zien in *Bijlage 14* bij de parameter 'Beheertype' bij de met lichtgroen aangegeven bodemonderzoeksresultaten. Dit patroon komt overeen met de parameter 'Vegetatietype'. De regulier beheerde percelen bevatten in alle gevallen een voedselrijk graslandtype, de ecologisch beheerde percelen een kruidenrijk graslandtype. Dit is ook terug te zien in de vegetatieopnames, te zien in *Bijlage 3*.

Het gemiddelde aantal plantensoorten per bodemsamplelocatie is 12 en kent een standaarddeviatie van 4,18 (zie *Tabel 8*). Wat opvalt is dat bodemsamplelocaties met een kruidenrijk vegetatietype (ofwel, op ecologische wijze beheerd worden) een grotere hoeveelheid plantensoorten bevatten dan bodemsamplelocaties met een voedselrijk vegetatietype (ofwel, op reguliere wijze beheerd worden). Dit wordt statistisch bevestigd met een significantie kleiner dan 0.001, wat wil zeggen dat de kans dat deze relatie op toeval berust 0,1% is.

Ook is berekend in hoeverre het aantal plantensoorten in relatie staat tot de doorworteling, het bodemtype en vegetatietype. De resultaten daarvan zijn te zien in *Tabel 9*. Hierin valt op dat het aantal plantensoorten correleert (kans op toeval 0,4%) met de doorwortelingsinschatting uit het bodemonderzoek. Hoe hoger het aantal plantensoorten, hoe intensiever de doorworteling is. Het bodemtype correleert met een significantie van 0.166 (kans op toeval 16,6%) aan het aantal plantensoorten.

Tabel 8: Beschrijvende statistiek aantal plantensoorten.

Descriptive Statistics aantal plantensoorten					
	N	Minimum	Maximum	Gemiddelde	Std. Deviatie
Aantal plantensoorten [n]	13	7	17	12,15	4,18

Tabel 9: One-way ANOVA berekeningen aantal plantensoorten en bodemeigenschappen. In het donkergroen de statistisch significante resultaten (kans op toeval kleiner dan 5%) en in het lichtgroen de resultaten waarvan de kans dat de relatie op toeval berust kleiner is dan 20%.

One-way ANOVA berekening aantal plantensoorten en bodemeigenschappen					
Afhankelijke variabele: Aantal plantensoorten					
Onafhankelijke variabelen	Type variabele	p	Sum of squares	F	n
Beheertype	Nominal	<0,001	194,645	142,288	13
Doorworteling	Ordinal	0,004	112,645	12,768	13
Vegetatietype	Nominal	<0,001	194,645	142,288	13
Bodemtype	Nominal	0,166	34,965	2,201	13

4.3.2 Relatie tussen NDVI en vegetatie

In *Tabel 10* en *11* zijn de resultaten van de statistische berekeningen van de relatie tussen gemiddelde NDVI-waarde te zien. Uit de statistische resultaten zijn geen significante resultaten naar voren gekomen tussen de gemiddelde NDVI-waarde en vegetatiekenmerken.

Tabel 10: One-way ANOVA berekeningen gemiddelde NDVI-waarde en vegetatiekenmerken.

One-way ANOVA berekening gemiddelde NDVI-waarde en vegetatie eigenschappen					
Afhankelijke variabele: gemiddelde NDVI-waarde					
Onafhankelijke variabelen	Type variabele	p	Sum of squares	F	n
Beheertype	Nominal	0,965	<0,001	0,002	13
Vegetatietype	Nominal	0,965	<0,001	0,002	13

Tabel 11: Lineaire Regressie berekeningen gemiddelde NDVI-waarde en vegetatiekenmerken.

Lineaire Regressie berekening gemiddelde NDVI-waarde en vegetatie eigenschappen									
Afhankelijke variabele: gemiddelde NDVI-waarde									
Onafhankelijke variabelen	Type	p	F	t	B	std. Error	R	R square	n
Plantensoorten	Scale	0,931	0,008	-0,88	<0,001	0,003	0,027	0,001	13

4.4 Koppeling NDVI-waarden en bodemeigenschappen

Deze paragraaf beschrijft de resultaten van het bodemonderzoek en de koppeling ervan met de gemiddelde NDVI-waarden. Tot slot volgt een conclusie op deelvraag 4.

4.4.1 Bodemonderzoek

Het bodemonderzoek heeft informatie opgeleverd over de fysische en chemische eigenschappen van de toplaag van de bodem op 13 openbaar toegankelijke terreinen met daarop graslandvegetatie. Niet al deze eigenschappen zijn gebruikt voor dit onderzoek, enkel de prioritaire bodemparameters van project Onder het Maaiveld en een aantal toevoegingen daarop zijn opgenomen (zie *paragraaf 2.1.3* en *3.2.3*). De volledige lijst van parameters uit het bodemonderzoek is te zien in *Bijlage 14* en zijn aangegeven met een lichtgroene en gele kleur, van de relevante parameters is de kleur horizontaal doorgetrokken in de tabel. De resultaten van het laboratorium onderzoek zijn door Eurofins opgeleverd in de vorm van BemestingsWijzer Rapporten. In *Bijlage 2* is hiervan een voorbeeld te zien van één van de bodemsamples. Deze informatie is voor alle bodemsamples verwerkt in *Bijlage 14*. In *Tabel 12* staan de resultaten van de beschrijvende statistische berekeningen.

Opmerkelijk is dat er op de meeste locaties geen regenwormen geteld zijn of in de beste gevallen zeer weinig (1 tot 3 exemplaren). Slechts op drie locaties zijn er regenwormen in de bouwvoor aangetroffen, allemaal op de dag met bewolkte weersomstandigheden. Wat betreft de weersomstandigheden is het noemenswaardig dat er sprake is geweest van droge weersomstandigheden ten tijde van de veldbezoeken en in de weken die daaraan vooraf zijn gegaan. Dit is in *Bijlage 14* terug te zien bij parameter 'Weersomstandigheden'.

Ook de waterdoorlaatbaarheidsresultaten zijn opvallend. Er zitten grote verschillen tussen de bodemsamples. Bij grofweg de helft van de samples is het water binnen 15 minuten in de bodem getrokken, bij de andere helft kostte dit 15 tot 30 minuten. Dit is in *Bijlage 14* terug te zien bij parameter 'Waterdoorlaatbaarheid'.

In de doorwortelingsinschattingen valt verder op dat op een enkele uitzondering na, bodemsample *C_NIOO_04*, de doorworteling 'matig' is ingeschat bij regulier beheerde locaties en 'intensief' bij ecologisch beheerde locaties. Dit patroon herhaalt zich grotendeels bij de inschattingen van de bodemkwaliteit. Hierbij is enkel bij regulier beheerde locaties een slechte bodemkwaliteit ingeschat en enkel bij ecologisch beheerde locaties een goede bodemkwaliteit. De resterende resultaten zijn beoordeeld als matig van kwaliteit. Dit is in *Bijlage 14* terug te zien bij de parameters 'Doorworteling' en 'Schatting bodemkwaliteit'.

Tabel 12: Beschrijvende statistiek laboratoriumresultaten bodemonderzoek.

Beschrijvende statistiek laboratorium resultaten					
	N	Minimum	Maximum	Gemiddelde	Std. Deviatie
Bacteriële biomassa [mg C/kg]	13	76	225	134,23	47,63
Berekende bulkdichtheid [kg/m ³]	13	1194	1414	1301,15	85,79
C/N-ratio [%]	13	11	16	13,00	1,47
Ca-bodemvoorraad [kg/ha]	13	1570	6035	3667,69	1185,22
K-bodemvoorraad [kg/ha]	13	115	395	215,77	72,83
Mg-bodemvoorraad [kg/ha]	13	80	280	169,23	69,25
Lutum [%]	13	2	5	2,85	0,90
Na-bodemvoorraad [kg/ha]	13	25	70	41,92	11,46
N-Totale bodemvoorraad [kg/ha]	13	2640	7980	4857,69	1467,86
Organische stof gehalte [%]	13	1,9	4,9	2,99	0,88
P-bodemvoorraad [kg/ha]	13	80	910	331,92	262,85
pH [KCL]	13	4,7	7,4	6,35	0,96
Schimmel biomassa [mg C/kg]	13	43	184	110,15	44,12
Schimmel/bacterie-Ratio [%]	13	0,4	1,2	0,82	0,19
S-totale bodemvoorraad [kg/ha]	13	720	1640	1021,92	229,79
Stuifgevoeligheid [rapportcijfer]	13	5	7,4	5,71	0,75
Verkruijmelbaarheid [rapportcijfer]	13	9,8	10	9,98	0,06
Verslemping [rapportcijfer]	13	7,4	8,1	7,61	0,20

4.4.2 Relatie tussen NDVI en bodemeigenschappen

In Tabel 13 en 14 zijn de resultaten van de statistische berekeningen tussen de gemiddelde NDVI-waarde en bodemeigenschappen te zien. De relatie tussen bodemparameter 'verkruijmelbaarheid' en de gemiddelde NDVI-waarden blijkt statistisch significant te zijn bij een significantieniveau van 0.05. De relatie tussen de NDVI-waarde en parameters 'Bodemtype', 'Stuifgevoeligheid', 'Mg-bodemvoorraad' en 'S-Bodemvoorraad' blijkt statistisch significant te zijn bij een significantieniveau van 0.2.

In Bijlage 15 zijn scatterplots te zien bij de significante resultaten van de lineaire regressie berekeningen en staafdiagrammen bij de significante resultaten van de One-Way ANOVA berekeningen.

Tabel 13: One-way ANOVA berekeningen gemiddelde NDVI-waarde en bodemeigenschappen. In het donkergroen de statistisch significante resultaten (kans op toeval kleiner dan 5%) en in het lichtgroen de resultaten waarvan de kans dat de relatie op toeval berust kleiner is dan 20%.

One-way ANOVA berekening gemiddelde NDVI-waarde en bodemeigenschappen					
Afhankelijke variabele: gemiddelde NDVI-waarde					
Onafhankelijke variabelen	Type variabele	p	Sum of squares	F	n
Beheertype	Nominal	0,965	<0,001	0,002	13
Bodemdieren aanwezigheid	Nominal	0,915	<0,001	0,012	13
Doorworteling	Ordinal	0,901	<0,001	0,016	13
Bodemtype	Nominal	0,199	0,002	1,865	13
Stuifgevoeligheid	Ordinal	0,095	0,013	3,459	13
Verkruijmelbaarheid	Ordinal	0,023	0,006	6,978	13
Verslemping	Ordinal	0,375	0,007	1,263	13

Tabel 14: Lineaire Regressie berekeningen gemiddelde NDVI-waarde en bodemeigenschappen. In het donkergroen de statistisch significante resultaten (kans op toeval kleiner dan 5%) en in het lichtgroen de resultaten waarvan de kans dat de relatie op toeval berust kleiner is dan 20%.

Lineaire Regressie berekening gemiddelde NDVI-waarde en bodemeigenschappen									
Afhankelijke variabele: gemiddelde NDVI-waarde									
Onafhankelijke variabelen	Type	p	F	t	B	std. Error	R	R square	n
Bacteriële biomassa	Scale	0,206	1,809	22,194	<0,01	<0,02	0,376	0,141	13
C/N ratio	Scale	0,707	0,149	-0,386	-0,003	0,007	0,116	0,013	13
Ca-bodemvoorraad	Scale	0,580	0,324	0,570	<0,001	<0,001	0,169	0,029	13
K-bodemvoorraad	Scale	0,481	0,533	0,730	<0,001	<0,001	0,215	0,046	13
Lutum	Scale	0,742	0,114	-0,338	0,004	0,012	0,101	0,010	13
Mg-bodemvoorraad	Scale	0,183	2,017	1,420	<0,001	<0,001	0,394	0,155	13
Na-bodemvoorraad	Scale	0,202	1,838	1,356	0,001	0,001	0,378	0,143	13
N-bodemvoorraad	Scale	0,416	0,714	-0,845	<0,001	<0,001	0,247	0,061	13
Organische stof gehalte	Scale	0,298	1,194	-1,093	-0,013	0,012	0,313	0,098	13
P-bodemvoorraad	Scale	0,912	0,013	0,113	<0,001	<0,001	0,034	0,001	13
Regenwormen aantal	Scale	0,901	0,016	-0,127	-0,001	0,011	0,038	0,001	13
S-bodemvoorraad	Scale	0,168	2,174	-1,475	<0,001	<0,001	0,406	0,165	13
Schimmel biomassa	Scale	0,216	1,723	-1,313	<0,001	<0,001	0,368	0,135	13
Schimmel/bacterie ratio	Scale	0,397	0,777	-0,881	-0,048	0,054	0,257	0,066	13
Verdichting	Scale	0,901	0,016	0,127	<0,001	<0,001	0,038	0,001	13
Waterdoorlaatbaarheid	Scale	0,787	0,077	-0,277	<0,001	0,001	0,083	0,007	13
Zuurgraad	Scale	0,555	0,371	0,609	0,007	0,011	0,181	0,033	13

5 Conclusies

In dit onderzoek staat de vraag *“In hoeverre kan de Normalized Difference Vegetation Index worden ingezet om de relatie tussen ecologische bodemkwaliteit en graslandvegetatie in de openbare ruimte aan te tonen?”* centraal. De doelstelling van het onderzoek is het vinden van een geschikte techniek om graslandbeheer te koppelen aan bodemkwaliteit en zo bij te dragen aan de ontwikkeling van het bodemkwaliteitswaarderingsmechanisme van project Onder het Maaiveld.

Deelvraag 1: “Hoe zijn NDVI-waarden volgens de literatuur het best te interpreteren?”

NDVI-waarden zijn volgens de literatuur het best te interpreteren als indicatie van de vitaliteit van vegetatie. In het literatuuronderzoek is naar voren gekomen dat de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) een breed inzetbare en daardoor ruim te interpreteren vegetatie-index is. In de basis geven NDVI-waarden een indicatie van de staat van de celstructuren- en de hoeveelheid bladgroen in vegetatie. De index geeft daarmee inzicht in de gezondheid en biomassa van de vegetatie. Hoe hoger de NDVI-waarde, hoe meer bladgroen er in de vegetatie is waargenomen, hoe beter de gezondheid van de vegetatie en hoe groter de biomassa ervan is.

Deelvraag 2: “Wat is de verwachte relatie tussen ecologische bodemkwaliteit en vegetatie op basis van de literatuur?”

De verwachte relatie tussen ecologische bodemkwaliteit en vegetatie is hoofdzakelijk te vinden in de chemische samenstelling van de bodem. Uit de literatuur is op te maken dat vegetatie en het bodemecosysteem met elkaar zijn verbonden in essentiële nutriëntenkringlopen, waarin bodemfauna een sleutelrol speelt. Regenwormen in het bijzonder.

Deelvraag 3: “In hoeverre is de gemiddelde NDVI-reflectiewaarde van graslandvegetaties in openbare ruimte gerelateerd aan vegetatieopnames?”

De resultaten van de statistische berekeningen tussen de gemiddelde NDVI-waarden en vegetatieopnames tonen geen relatie aan. De nulhypothese kan dan ook niet worden verworpen. Het bestaan van een relatie tussen de twee gegevens kan echter niet worden uitgesloten.

Opvallend aan de data is overigens dat de vegetatie in ecologisch beheerde graslanden soortenrijker zijn dan de graslanden die op reguliere wijze beheerd worden. Dit is echter niet terug te zien in de gemiddelde NDVI-waarden.

Deelvraag 4: “In hoeverre is de gemiddelde NDVI-reflectiewaarde van graslandvegetaties in openbare ruimte gerelateerd aan veldmetingen van de ecologische bodemkwaliteit?”

Hetzelfde is het geval voor de resultaten van de statistische berekeningen tussen de gemiddelde NDVI-waarden en de gemeten bodemeigenschappen. De nulhypothese kan op basis van de resultaten niet worden verworpen en is er geen relatie aangetoond. Ook hier sluiten de resultaten het bestaan van een dergelijke relatie ook niet uit.

De enige parameter met een significantieniveau van 0.05 is Verkruijmelbaarheid ($p = 0.02$). Vier parameters kennen een significantie niveau van 0.2: Bodemtype ($p = 0.19$), Stufgevoeligheid ($p = 0.10$), Mg-bodemvoorraad ($p = 0.18$) en S-bodemvoorraad ($p = 0.17$). Enkel het bodemtype behoort tot de prioritaire bodemparameters van project Onder het Maaiveld.

Hoofdvraag: “In hoeverre kan de Normalized Difference Vegetation Index worden ingezet om de relatie tussen ecologische bodemkwaliteit en graslandvegetatie in de openbare ruimte aan te tonen?”

Op basis van de resultaten van dit onderzoek kan de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) niet worden ingezet om de relatie tussen ecologische bodemkwaliteit en graslandvegetatie in de openbare ruimte aan te tonen.

De resultaten hebben niet aangetoond dat er een relatie is tussen de NDVI waarde en ecologische bodemkwaliteit. Er is echter ook niet uit te sluiten dat er geen sprake is van een relatie, wat duidt op een complexere statistische relatie. Om een bruikbare (ofwel, significante) relatie te kunnen uitsluiten is vervolgonderzoek met een grotere samplegroep (N) noodzakelijk.

De NDVI staat bekend als een veelzijdige index die toepasbaar is in verschillende situaties, daarom is het mogelijk dat vervolgonderzoek wel toepassingspotenties vindt voor de NDVI binnen project Onder het Maaiveld. Op basis van de (beperkte) data die in dit onderzoek is verzameld lijkt de toepassing van remote sensing voor het vaststellen van bodemeigenschappen ingewikkeld en niet eenvoudig te implementeren.

6 Discussie

In dit onderzoek is er middels statistische berekeningen geanalyseerd in hoeverre de NDVI kan worden ingezet om de relatie tussen ecologische bodemkwaliteit en graslandvegetatie in de openbare ruimte aan te tonen. De doelstelling daarachter is het kunnen bepalen of de NDVI een geschikte techniek is om op langere termijn graslandbeheer te kunnen koppelen aan bodemkwaliteit en daarmee bij te dragen aan de ontwikkeling van het bodemkwaliteitswaarderingsmechanisme van project Onder het Maaiveld.

Er is op 13 locaties in de openbare ruimte een bodemsample genomen, vegetatieopname gemaakt en een gemiddelde NDVI-waarde berekend. Vervolgens is over deze dataset de relatie berekend tussen de gemiddelde NDVI-waarde en bodemkwaliteitsparameters, daaruit kwam enkel bij bodemparameter verkruielbaarheid [rapportcijfer] een resultaat met een significantieniveau van 0.05 naar voren. Deze parameter is overigens geen onderdeel van de geprioriteerde parameters van project onder het maaiveld. Belangrijk bij de interpretatie van de NDVI-waarden is dat deze inzicht bieden in de gezondheid en biomassa van de vegetatie; en niet direct informatie bieden over de soortenrijkdom. Het verkruielbaarheidscijfer geeft inzicht in de onderlinge binding tussen bodemdeeltjes, wat van invloed is op de vegetatie.

Op basis van de data die in dit onderzoek verzameld is lijkt de toepassing van de NDVI voor het vaststellen van bodemeigenschappen ingewikkeld en niet eenvoudig te implementeren. Er is niet uit te sluiten of de NDVI kan worden ingezet, maar er is wel nog steeds sprake van potentie. Enerzijds hebben de resultaten van dit onderzoek niet aangetoond dat er een bruikbare relatie is tussen de NDVI-waarde en ecologische bodemkwaliteitsparameters. Anderzijds kunnen de resultaten ook niet uitsluiten dat er geen bruikbare relatie bestaat tussen de NDVI-waarde en de bodemkwaliteitsparameters. Het onderzoek kent echter beperkingen die van invloed zijn op de resultaten, wat maakt dat de doelstelling van het onderzoek gedeeltelijk is behaald.

De belangrijkste beperking van het onderzoek is het beperkte aantal samples. De grootte van de samplegroep is onderschat, waardoor het mogelijk is dat relaties die in werkelijkheid wel bestaan niet in de resultaten naar voren zijn gekomen. Verwacht werd dat de bodemtoestand in openbare ruimte overeen zou komen met de homogeniteit in vegetatie. Dit blijkt niet het geval te zijn. Binnen het relatief kleine studiegebied is al veel variatie in bodemsamenstelling waar te nemen, waarmee de complexiteit van het bodemecosysteem wordt bevestigd. Om een bruikbare relatie tussen de NDVI en bodemkwaliteitsparameters te kunnen uitsluiten is vervolgonderzoek met een grotere samplegroep (N) noodzakelijk.

Dit is ook waarom er in dit onderzoek ook resultaten met een significantieniveau van 0.2 onder de aandacht zijn gebracht. Deze resultaten zijn te zien als een indicatie voor welke bodemkwaliteitsparameters de grootste potentie hebben om in een significante relatie te staan tot de NDVI en bieden perspectief voor vervolgonderzoek. Het aantal resultaten dat het significantieniveau van 0.2 haalt blijkt echter ook klein, het gaat om slechts vier parameters.

Verder is het noemenswaardig dat de weersomstandigheden van invloed zijn op de aanwezigheid van regenwormen in de bouwvoor en vermoedelijk ook op de waterdoorlaatbaarheidstest. Ten tijde van het veldonderzoek en in de weken daarvoor is het erg droog en zonnig geweest. Regenwormen zitten in droge periodes dieper in de ondergrond dan de bouwvoor. In de regenwormtellingen zijn dan ook bijna geen regenwormen gezien, waardoor deze resultaten niet als representatief kunnen worden beschouwd.

Tot slot is het opvallend dat de NDVI-waarden in de graslanden vrij hoog zijn. Een mogelijke verklaring hiervoor is te herleiden naar de atmosferische correctie van het satellietbeeldmateriaal. De data in dit onderzoek is afkomstig van het Netherlands Space Office satellietdataportaal (NSO, z.d.), welke de data gebruiksklaar aanbiedt. Mogelijk is een specifiekere atmosferische correctie van het beeldmateriaal voor dit onderzoek beter geweest. Dit is in ieder geval aan te raden wanneer er in vervolgonderzoek per bodemsample meerdere NDVI waarden worden berekend en er verschillende satellietbeelden worden gebruikt. Hoe groter het aantal samples (N) hoe belangrijker een betrouwbare, eenduidige atmosferische correctie van de satelliet data is. Ook is het mogelijk dat de graslandvegetaties simpelweg zo hoog productief waren ten tijde van de opname dat dit de vrij hoge NDVI-waarden verklaart.

7 Aanbevelingen

In dit laatste hoofdstuk staan een aantal aanbevelingen beschreven. Deze zijn hoofdzakelijk gericht op verbetering van de onderzoeksmethodiek in mogelijk vervolgonderzoek. Daarnaast zijn er enkele suggesties gedaan voor het optimaliseren van de achtergrondinformatieverzameling bij het bodemsampleprotocol van project Onder het Maaiveld en het verder verkennen van de mogelijkheden van de NDVI.

Verbetering onderzoeksmethodiek en suggesties voor vervolgonderzoek

- Het interpreteren van de NDVI is complexer dan op het eerste oog lijkt. In de beschrijvende statistische berekeningen is te zien dat de verschillen tussen de gemiddelde NDVI-waarde per bodemsample erg klein zijn. In eventueel vervolgonderzoek is het beter om meer NDVI data per bodemsample mee te nemen in de berekening. Interessant is om de NDVI-waarden van een samplelocatie door het jaar heen op meerdere momenten in de seizoenen te berekenen. Tool *Moving Average* in ArcMap is hier bijvoorbeeld geschikt om dit gemiddelde te berekenen.
- In meer natuurlijke graslanden is ecologisch gezien de ruimtelijke heterogeniteit belangrijker dan de biomassa (NDVI) per pixel. Een pixel die informatie geeft over heterogeniteit zou daarom meer waardevol zijn. Ruimtelijke heterogeniteit belangrijkere maatstaf voor biodiversiteit dan biomassa/hoeveelheid bladgroen/vitaliteit.
- Het beste satellietbeeld is genomen op het toppunt van biomassa productie, niet het meest recente beeld. Ook hoeveelheid zonlicht (straling) en daarbij de egaliteit wolkbedekking van belang.
- Mogelijk is het interessant om in vervolgonderzoek ook over de parameters die in dit onderzoek niet zijn mee genomen statistische berekeningen toe te passen.
- Ook een indexanalyse van bestaande indices naast de NDVI of het zelf samenstellen van een index door verschillende bandbreedtes tegenover elkaar zetten kan als vervolgonderzoek waardevol zijn.
- Mogelijk is het interessant om de standaarddeviatie tussen de pixels (ruimtelijke autocorrelatie) per bemonsterd punt te correleren aan bodemparameters. Op deze manier ontstaat er mogelijk een maat voor heterogeniteit in de vegetatie. De toepassing hiervan moet nog verder worden onderzocht, het is niet onmogelijk dat het uniforme karakter van de (veelal soortenarme) graslandvegetatie een ruimtelijke autocorrelatieanalyse sterk bemoeilijkt.
- Mogelijk is het onderzoeken van radar als informatieverzamelingstechniek toch een optie om grote structuurverschillen inzichtelijk te maken. Dit is echter een veel complexer proces dan het berekenen van de Normalized Difference Vegetation Index en blijft een techniek met veel 'dataruis'.

Suggesties voor achtergrondinformatieverzameling bij het bodemonderzoeksprotocol

- Het is aan te raden om aan het velwerkformulier van het huidige bodemonderzoeksprotocol het noteren van de weersomstandigheden toe te voegen. De regenwormen telling en vermoedelijk ook de waterdoorlaatbaarheidstest worden hier namelijk door beïnvloed.
- Op dit moment word er bij het inwinnen van bodemgegevens met het protocol van project Onder het Maaiveld gebruik gemaakt van een online formulier om achtergrondinformatie in te verzamelen. Om data invoer en -verwerking te vergemakkelijken is het aan te raden om in plaats van een online formulier een mobiele veldwerkapplicatie zoals Survey123 (Esri, 2022-a) te gebruiken. Er is geen sprake van noodzaak, maar wellicht is het wel efficiënter en/of prettiger om mee te werken.

Bronvermelding

- Algemeen Hoogtebestand Nederland. (2021). *AHN3 – 0,5 meter raster dtm*. [Dataset]. PDOK.
- Antognelli, S. (29 mei 2018). *NDVI and NDMI vegetation indices: instructions for use*. Geraadpleegd op 1 april 2022, van <https://www.agricolus.com/en/vegetation-indices-ndvi-ndmi/>
- Besluit omgevingsrecht*. (2010, 25 maart). Geraadpleegd op 20 mei 2022, van <https://wetten.overheid.nl/BWBR0027464/2022-03-02#BijlageII>
- Bodem+. (2009, 31 december). *Home*. Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit. Geraadpleegd op 1 april 2022, van <https://www.bodemrichtlijn.nl/>
- Brandhof natuur & platteland. (z.d.) *Ecologisch onderzoek met drones*. Geraadpleegd op 23 maart 2022, van <https://www.natuurenplatteland.nl/ecologisch-onderzoek-met-drones/>
- China Siwei Surveying & Mapping Technology Co., Ltd. (08 september 2021). *20210908_112349_SV1-02_SV_RD_11bit_RGBI_200cm_Rhenen*. [Dataset]. SpaceWill Info. Co., Ltd.. Geraadpleegd op 5 april 2022, van <https://www.satellietdataportaal.nl/?base=brtachtergrondkaart&res=0.5&datemin=24-05-2021>
- De Graeff, J.J., Demmers, M., Hooimeijer, P., Koeman, N.S.J., Kok, J., Nijhof, A.G., Peper, E., Poppe, K.J., Verdaad, J.C., Van der Zande, A.N. (Samenst. & Reds.) & Segeren, E. (Eindred.). (2020). *De Bodem Bereikt?!*. Raad voor de leefomgeving en infrastructuur. Geraadpleegd op 18 maart 2022, van https://www.rli.nl/sites/default/files/advies_de_bodem_bereikt_-_def.pdf
- ESRI Nederland & CycloMedia. (2013). *Luchtfoto 2013 – 50 cm*. [Dataset]. ESRI Nederland.
- ESRI Nederland & Kadaster. (2006). *Luchtfoto 2006*. [Dataset]. ESRI Nederland.
- ESRI Nederland & Kadaster. (2007). *Luchtfoto 2007*. [Dataset]. ESRI Nederland.
- ESRI Nederland & Kadaster. (2016). *Luchtfoto 2016 – 25 cm*. [Dataset]. ESRI Nederland.
- ESRI Nederland & Klimaat-effectatlas. (2021). *Kwel en Infiltratie - huidig*. [Dataset]. ESRI Nederland.
- Esri. (2019). *ArcGIS Map* (10.7.1). [GIS software]. Esri.
- Esri. (2022-a). *ArcGIS Survey123* (3.14.255). [applicatie]. Esri.
- Esri. (2022-b). *ArcGIS Field Maps* (22.2.0). [applicatie]. Esri.
- Facilitair Bedrijf WUR. (juni 2019). *Groenvisie Wageningen Campus*. Geraadpleegd op 19 mei 2022, van <https://edepot.wur.nl/540768>
- Geodanlabs. (2021). *Grondwatertrappen*. [Dataset]. ESRI Nederland.
- Herber, R. (z.d.). *Regionale bodemkunde*. Historische Kring De Bilt. Geraadpleegd op 10 mei 2022, van <https://historischekringdebilt.nl/regionale-bodemkunde/>
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J.P., Wang, Y. & Shao, G. (2021) A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1–6. <https://doi-org.hvhl.idm.oclc.org/10.1007/s11676-020-01155-1>
- IBM Corporation. (2019). *IBM SPSS Statistics for Windows* (26.0.0.0). IBM Corporation.

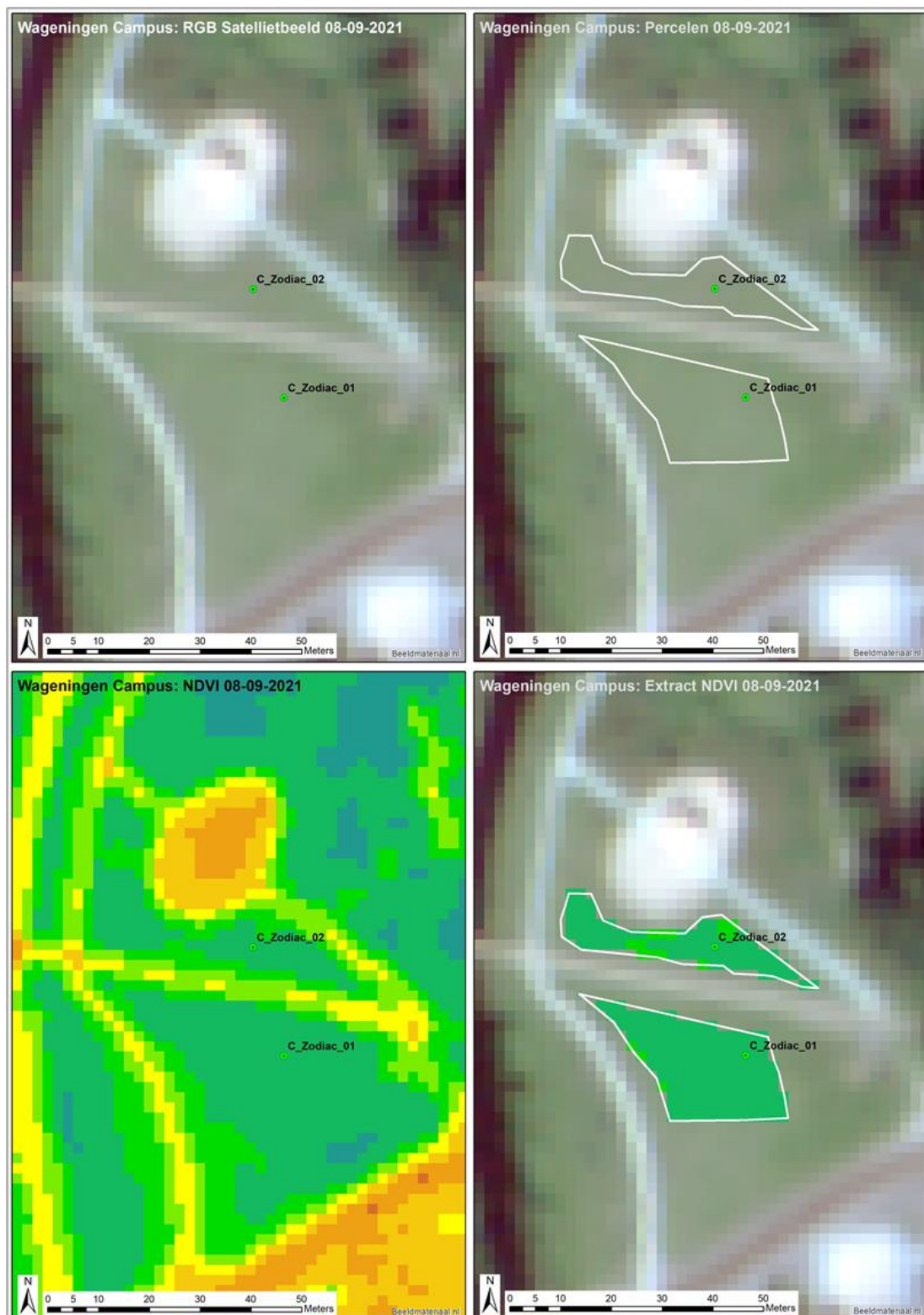
- Kadaster. (2015). *Topotijdreis*. Topotijdreis. Geraadpleegd op 24 mei 2022, van <https://topotijdreis.nl/>
- Kadaster. (2022). *Basis Registratie Topografie TOPNL10*. [Dataset]. PDOK.
- Koopmans, C., Bokhorst, J., Ter Berg, C. & Van Eekeren, N. (2007). *Bodemsignalen: praktijkgids voor een vruchtbare bodem*. Roodbont B.V. & Louis Bolk Instituut.
- Koopmans, C.J., Zanen, M. & Ter Berg, C. (2005). *De Kuil: Bodembeoordeling aan de hand van een kuil* (LB12). Louis Bolk Instituut. Geraadpleegd op 25 april 2022, van <https://www.louisbolk.nl/sites/default/files/publication/pdf/1725.pdf>
- Koster, A. (2001). *Openbaar groen op ecologische grondslag* [proefschrift]. Landscape Architecture and Spatial Planning. Geraadpleegd op 20 mei 2022, van <https://edepot.wur.nl/195741>
- Koster, A. (2007). *Plantenvademecum voor tuin, park en landschap*. Fontaine Uitgevers.
- Liew, O.W., Chong, P.C.J., Li, B. & Asundi A.K. (2008). Signature Optical Cues: Emerging Technologies for Monitoring Plant Health [Phytosensors: Environmental Sensing with Plants and Plant Cells]. *Sensors*, 8(5). 3205-3239. <https://doi.org/10.3390/s8053205>
- Locher, W.P. & De Bakker, H. (1987). *Bodemkunde van Nederland: Deel 1, Algemene Bodemkunde*. Malmberg. Geraadpleegd op 20 mei 2022, van <https://edepot.wur.nl/331200>
- Moore, G.K. (1979). What is a picture worth?: A history of remote sensing. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(4), 477-485. <https://doi.org/10.1080/02626667909491887>
- Netherlands Space Office. (z.d.). *Kaart*. Satellietdataportaal. Geraadpleegd op 5 april 2022, van <https://www.satellietdataportaal.nl/?base=brtachtergrondkaart&res=0.5&datemin=24-05-2021>
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. & Deering, D.W. (1973). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation* (RSC 1978-2). Remote Sensing Center Texas A&M University. Geraadpleegd op 19 mei 2022, van <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19730017588/downloads/19730017588.pdf>
- Rutgers, M. Mulder, C. & Schouten, A.J. Bloem, J. Bogte, J.J. Breure, A.M., Brussaard, L., De Goede, R.G.M. Faber, J.H. Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M. Keidel, H. Korthals, G.W. Smeding, F.W. Ter Berg, C. & Van Eekeren, N. (2007). *Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit* (RIVM Rapport 607604008/2007). Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Steur, G.G.L. & Heijink, W. (1973). *Bodemkaart van Nederland 1:50.000 : toelichting bij de kaartbladen 39 West Rhenen en 39 Oost Rhenen*. Stichting voor Bodemkartering. Geraadpleegd op 31 mei 2022, van <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/117795>
- Tansley, A.G. (1935). The use and abuse of vegetational terms and concepts. *Ecology*, 16, 284-307.
- TCB. (2003). *Advies duurzaam bodemgebruik op ecologische grondslag*. (Rapport TCB A33(2003)). Technische Commissie Bodembescherming.
- Van der Meijden, R. (2005). *Heukels Flora van Nederland 23^e druk*. Noordhoff Uitgevers.

- VROM. (2003). *Beleidsbrief Bodem* (Beleidsbrief Bodem BWL/2003 096250). Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijk Ordening en Milieubeheer.
- Wageningen Campus. (4 januari 2016). *Integraal groenplan Wageningen Campus*. Wageningen Campus. Geraadpleegd op 10 mei 2022 van, <https://www.wageningencampus.nl/nl/show/Groenplan-Appelbomen-Wageningen-Campus.htm>
- Wageningen Campus. (z.d.). *Bestemmingsplan Wageningen Campus*. Wageningen Campus. Geraadpleegd op 10 mei 2022, van <https://www.wageningencampus.nl/nl/campus/over/Campusgebied.htm>
- Wageningen Environmental Research. (2006). *Grondsoortenkaart van Nederland*. [Dataset]. Wageningen Environmental Research.
- Wageningen Environmental Research. (2017). *Bodemkaart van Nederland 1:50.000*. [Dataset]. ESRI Nederland.
- Wageningen Environmental Research. (2019). *Geomorfologische kaart van Nederland 1:50.000*. [Dataset]. ESRI Nederland.
- Wageningen University & Research. (15 juli 2021). *Innovatie automatische beeldherkenning trekvissen genomineerd voor de Computable Awards 2021*. Geraadpleegd op 23 maart 2022, van <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/marine-research/show-marine/Innovatie-automatische-beeldherkenning-trekvissen-genomineerd-voor-de-Computable-Awards-2021.htm>
- Wegenverkeerswet 1994*. (1994, 21 april). Geraadpleegd op 20 mei 2022, van <https://wetten.overheid.nl/BWBR0006622/2022-05-20>
- Wójtowicz, M., Wójtowicz, A. & Piekarczyk, J. (2016). Application of remote sensing methods in Agriculture. *Communications in Biometry and Crop Science*, 11(1), 31-50. Geraadpleegd op 18 mei 2022, van http://agrobiol.sggw.waw.pl/~cbcs/articles/CBCS_11_1_3.pdf
- WUR. (z.d.). *Natuurtuin Lumen*. Geraadpleegd op 24 mei 2022, van <https://www.wur.nl/nl/show/natuurtuin-lumen.htm>
- WWF. (2020). *Living Planet Report 2020 – Bending the curve of biodiversity loss*. WWF. Geraadpleegd op 21 maart 2022, van <https://www.wwf.nl/globalassets/pdf/lpr/lpr-2020-full-report.pdf>
- Yengoh, G.D., Dent, D., Olsson, L., Tengerberg, A. & Tucker III, C.J. (2015). *Use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Assess Land Degradation at Multiple Scales*. SpringerBriefs in Environmental Science. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24112-8>

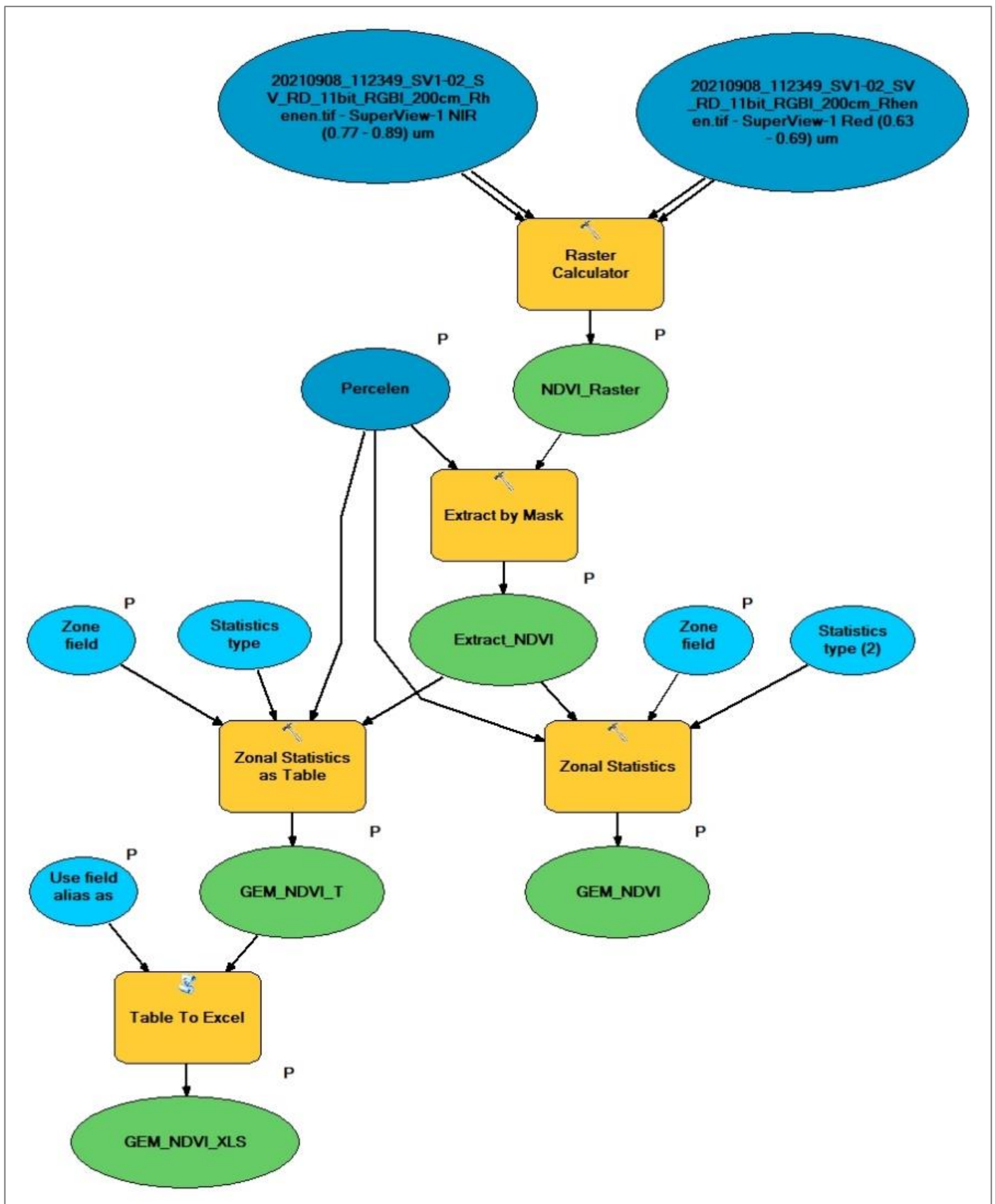
Bijlagen

Bijlage 1: Schematische weergave GIS-workflow gemiddelde NDVI-waarde berekening

v.l.n.r. inladen van bodemsamples en RGBI satellietbeeld SuperView (China Siwei Surveying & Mapping Technology Co., Ltd., 2021), handmatig intekenen van percelen met bruikbare pixels rondom bodemsamples, berekenen Normalized Difference Vegetation Index en het uitsnijden ervan ter grote van de ingetekende percelen.



GIS-workflow in ModelBuilder berekening gemiddelde Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) waarde per bodemsample. Donkerblauw = input data, lichtblauw = specifieke instelling van een tool, geel = tool en groen = output data.



Bijlage 2: Voorbeeld EurofinsAgro BemestingsWijzer Rapport



Rapport

BemestingsWijzer
Recreatie
C_Actio_01

Uw klantnummer: 3377334

Vlinderstichting
Postbus 506
6700 AM WAGENINGEN

Eurofins Agro
Postbus 170
NL - 6700 AD Wageningen

T monstername: Thijmen Schouten: 0652002114
T klantenservice: 068 876 1010
E klantenservice.agro@eurofins.com
I www.eurofins-agro.com

Onderzoek	Onderzoek-/ordernr.	Datum monstername:	Datum verslag:
	791339/005740440	10-05-2022	19-05-2022

Resultaat	Eenheid	Resultaat	Streeftraject	laag	vrij laag	goed	vrij hoog	hoog
Chemisch	N-totale bodemvoorraad	kg N/ha	3780	21210 - 33940				
	C/N-ratio		15	13 - 17				
	N-leverend vermogen	kg N/ha	50	95 - 145				
	S-plantbeschikbaar	kg S/ha	7	20 - 30				
	S-totale bodemvoorraad	kg S/ha	890	6385 - 9970				
	C/S-ratio		62	50 - 75				
	S-leverend vermogen	kg S/ha	14	20 - 30				
	P-plantbeschikbaar	kg P/ha	2,5	3,4 - 17,0				
	P-bodemvoorraad	kg P/ha	280	465 - 650				
	K-plantbeschikbaar	kg K/ha	75	320 - 460				
K-bodemvoorraad	kg K/ha	230	285 - 455					
Ca-plantbeschikbaar	kg Ca/ha	205	305 - 715					
Ca-bodemvoorraad	kg Ca/ha	3680	1220 - 1830					
Mg-plantbeschikbaar	kg Mg/ha	95	110 - 185					
Mg-bodemvoorraad	kg Mg/ha	170	150 - 495					
Fysisch	Na-plantbeschikbaar	kg Na/ha	< 25	35 - 110				
	Na-bodemvoorraad	kg Na/ha	40	50 - 105				
	Zuurgraad (pH)		6,8	5,0 - 5,4				
	C-organisch	%	1,3					
	Organische stof	%	2,1					
	C/OS-ratio		0,62	0,45 - 0,55				
	Koolzure kalk	%	0,2	2,0 - 3,0				
	Klei (<2 µm)	%	3					
	Silt (2-50 µm)	%	12					
	Zand (>50 µm)	%	83					
	Klei-humus (CEC)	mmol+/kg	48	> 71				
	CEC-bezetting	%	100	> 95				
	Ca-bezetting	%	90	75 - 85				
	Mg-bezetting	%	6,9	6,0 - 10				
	K-bezetting	%	2,9	2,0 - 5,0				
Na-bezetting	%	< 0,1	1,0 - 1,5					
H-bezetting	%	< 0,1	< 1,0					
Al-bezetting	%	< 0,1	< 1,0					
	Eenheid	Resultaat	Streeftraject	laag	vrij laag	goed	zeer goed	
Verkruimelbaarheid	rapportcijfer	10,0	6,0 - 8,0					
Verslompig	rapportcijfer	7,4	6,0 - 8,0					
Stuifgevoeligheid	rapportcijfer	5,5	6,0 - 8,0					

Pagina: 1
Totaal aantal pagina's: 5
Rapportidentificatie:
791339/005740440, 19-05-2022



De rapport is vrijgegeven onder verantwoordelijkheid van Drs. Ing. J. van Benthum, Business Unit Manager. Op al onze vormen van dienstverlening zijn onze Algemene Voorwaarden van toepassing. Op verzoek worden deze en/of de specificaties van de analysemethoden toegezonden. Eurofins Agro Testing Wageningen BV stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schade van welke aard ook voortvloeiend uit het gebruik van door of namens ons verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Eurofins Agro Testing Wageningen BV is ingeschreven in het RVA-register voor testlaboratoria zoals nader omschreven in de erkenning onder nr. L122 voor uitvoeren van monsternemings- en/of de analysemethoden.

C_Actio_01

Resultaat	Eenheid	Resultaat	Streeftraject	laag	vrij laag	goed	vrij hoog	hoog
Biologisch	Vochthoudend vermogen mm	51						
	Microbiële biomassa	mg C/kg	316	105 - 315				
	Microbiële activiteit	mg N/kg	27	230 - 280				
	Schimmel/bacterie-ratio	0,7	0,6 - 0,9					



Essentiële nutriënten

Elk gewas heeft voedingsstoffen nodig. De essentiële nutriënten waar een gewas het meest van nodig heeft, zijn stikstof (N), zwavel (S), fosfaat (P), kalium (K), calcium (Ca) en magnesium (Mg). De andere essentiële nutriënten zijn de sporenelementen ijzer (Fe), zink (Zn), mangaan (Mn), koper (Cu), borium (B), molybdeen (Mo) en chloor (Cl). Een gewas heeft van sporenelementen relatief weinig nodig, maar een tekort kan bij ieder gewas opbrengst- en of kwaliteitsverlies veroorzaken.

Een aantal andere nutriënten (natrium, silicium, kobalt, selenium) kunnen ook van belang zijn voor onder andere opbrengst, kwaliteit, weerbaarheid, stevigheid, vruchtbaarheid, smakelijkheid en (dier)gezondheid.

Elementen kunnen elkaar ook beconcurreren. Als bijvoorbeeld de Mg-toestand 'goed' is maar de K-toestand 'hoog' is, kan er alsnog een Mg-tekort ontstaan. De adviesgiften houden derhalve ook rekening met deze interacties.

Advies in kg per 100 m² per jaar	Gewas		Adviesgift
	Stikstof (N)	Grasvelden	1,0
	Sulfaat (SO ₃)	Grasvelden	0
	Fosfaat (P ₂ O ₅)	Grasvelden	1,2
	Kali (K ₂ O)	Grasvelden	0,9
	Calcium (CaO)	Grasvelden	0,5
	Magnesium (MgO)	Grasvelden	0,8
	Kalk (nw)	Grasvelden	0
	Effectieve org. stof	per jaar	25
Bodemstructuur	Calcium (CaO)	eenmalig	0
	Magnesium (MgO)	eenmalig	0,5

Rapport

C_Actio_01

Toelichting

De resultaten en/of het advies van dit bemestingsonderzoek kunt u t/m 2025 gebruiken. Laat het perceel daarna opnieuw bemonsteren. Dan krijgt u een betrouwbaar bemestingsadvies gebaseerd op de actuele bodemtoestand.

Fosfaat:

De P-buffering is 23. Het streeftraject ligt tussen de 17 - 27. De P-buffering geeft aan of de P-bodemvoorraad in staat is de P-plantbeschikbaar op het huidige peil te houden. Als de P-buffering laag is, dan zal de P-plantbeschikbaar tijdens het groeiseizoen niet op peil blijven en zal op termijn ook de P-bodemvoorraad terug gaan lopen.

Kali:

Het K-getal is voor dit perceel 16

Calcium:

Het calciumadvies is - afhankelijk van de bodemtoestand - deels gewasgericht en deels bodemgericht.

Het gewasgerichte CaO-bemestingsadvies (direct onder het kaliadvies) is voornamelijk bedoeld om de kwaliteit van gewassen te verbeteren.

Het bodemgerichte advies is bedoeld om de bodemvoorraad van calcium op peil te brengen en zal daarnaast een positief effect hebben op de bodemstructuur (zie CEC-driehoek). Let op: mogelijk krijgt u ook een kalkgift geadviseerd. U hoeft niet meerdere keren calcium te geven; calcium uit stikstof-, fosfaat- en kalkmeststoffen dient u hierop in mindering te brengen.

Klei-humus (CEC):

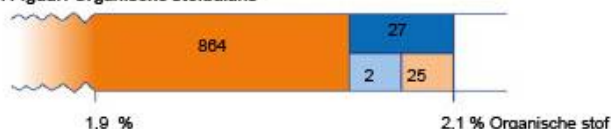
Het klei-humus-complex (ook wel CEC = kationen uitwisselcapaciteit) geeft de capaciteit van de bodem weer om positief geladen voedingsstoffen (zoals K, Mg, Na en Ca) en andere elementen (Al en H) te binden. Een arme zandgrond heeft een lage CEC, gronden met veel klei en veel organische stof hebben een hoge CEC.

Bodemleven:

De biologische bodemvruchtbaarheid wordt nu weergegeven via 3 kengetallen, te weten de microbiële biomassa, de microbiële activiteit en de schimmel/bacterie-ratio.

Op basis van de huidige kennis wordt een waardering gegeven die afhankelijk is van de hoeveelheid organische stof. Er wordt nu nog geen advies gegeven. Via diverse onderzoeksprojecten zal er meer informatie beschikbaar komen.

Organische stof Figuur: Organische stofbalans



Jaarlijks afbraakpercentage van de totale voorraad organische stof (%): 3,0

- Voorraad organische stof die over 1 jaar in de bemonsterde laag nog aanwezig zal zijn als er geen (effectieve) organische stof wordt aangevoerd.
- Totaal benodigde aanvoer van effectieve organische stof als gevolg van afbraak van de organische stof.
- Aanvoer via gewasresten (gemiddeld binnen opgegeven bouwplan of gewassen).
- Nog aan te vullen via bijv. dierlijke mest, groenbemesters en/of compost.

Gewas(rest)	Aanvoer effectieve organische stof
Grasvelden	2
Gemiddelde aanvoer/jaar	2

Om het organische stofgehalte met 0,1% te verhogen dient u een extra hoeveelheid effectieve organische stof aan te voeren van: 42 kg per are.

Figuur: Kwaliteit van de organische stof



Organische stof bestaat uit met name C, N, P, S. Wanneer de organische stof relatief veel N en/of S bevat is dit aantrekkelijk voor bodemleven. Bodemleven vreet deze organische stof graag. Hierbij komt N en S vrij en het gehalte aan organische stof daalt licht (dynamische organische stof). Organische stof kan ook veel C bevatten. Dat is over het algemeen minder aantrekkelijk voor bodemleven. De organische stof wordt derhalve minder aangevreten door bodemleven; de organische stof is stabiel. Stabiele organische stof draagt onder andere bij aan de bewerkbaarheid van de bodem en aan de ruilbaarheid. Dynamische organische stof draagt bij aan met name het vrijkomen van N en S en is daarmee een bron van deze nutriënten voor het gewas. De kwaliteit van de organische stof is (geleidelijk) aan te passen door onder andere te letten op de eigenschappen van bodemverbeters als dierlijke mest, compost en gewasresten.

Pagina: 3
Totaal aantal pagina's: 5
Rapportidentificatie:
791339/005740440, 19-05-2022



Dit rapport is vrijgegeven onder verantwoordelijkheid van Drs. Ing. J. van Berthum, Business Unit Manager. Op al onze vormen van dienstverlening zijn onze Algemene Voorwaarden van toepassing. Op verzoek worden deze en/of de specificaties van de analysemethoden toegezonden. Eurofita Agro Testing Wageningen B.V. stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schade van welke aard ook voortvloeiend uit het gebruik van door of namens ons verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Eurofita Agro Testing Wageningen B.V. is ingeschreven in het RvA-register voor testlaboratoria zoals nader omschreven in de erkenning onder nr. L122 voor uitsluitend de monsternemings- en/of de analysemethoden.

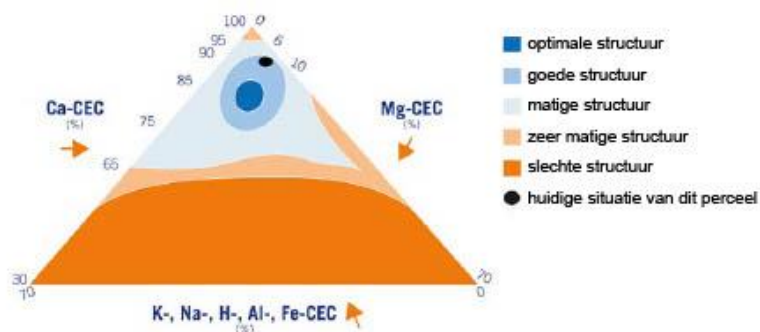
[Handwritten signature]

C_Actio_01

Fysisch

De beoordeling van de potentiële structuur wordt gedaan op basis van de verhouding tussen calcium, magnesium en overige kationen aan het klei-humuscomplex. Uiteraard is de werkelijke structuur ook afhankelijk van weersomstandigheden en vochttoestand van de bodem tijdens berijden en bewerken en de zwaarte van machines.

Figuur: Structuurdriehoek



Figuur: Textuurdriehoek



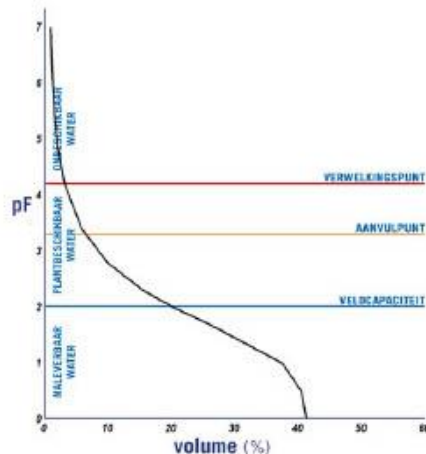
Naast klei (lutum), worden ook de silt- en zandfracties weergegeven. Klei is kleiner dan 2 micrometer (μm), siltdeeltjes zijn 2-50 μm en zanddeeltjes groter dan 50 μm . De onderlinge verdeling van bodemdeeltjes wordt onder andere gebruikt om het verslappingsrisico van een bodem in te schatten. Bij verslapping wordt de bodem dichtgesmeerd met kleinere deeltjes (klei en silt). Een heel eenzijdige verdeling (bijvoorbeeld hoofdzakelijk zand- of kleideeltjes) levert het minste risico van slemp op. Bij 10-20% klei is het risico op slemp het grootst.

De verkrumelbaarheid is goed te noemen. Echter is dit ook afhankelijk van de soort teelt. Gezien het resultaat is de kans op verslapping klein.

Rapport

C_Actio_01

Fysisch Figuur: Waterretentiecurve



De hoeveelheid plant beschikbaar water in de bemonsterde laag is 51 mm, dit is wat u maximaal zou moeten beregenen. Alles wat u meer geeft spoelt af van het perceel of zakt naar diepere lagen.

Als het vochtgehalte van het perceel daalt hebben gewassen moeite om voldoende water op te nemen, de grens ligt bij pF 3,3. Wanneer u het vochtgehalte kan bepalen, begin dan met beregenen als het vochtgehalte van dit perceel op 6,5 % vocht zit en geef dan 42 mm.

Het actuele vochtgehalte kan bepaald worden door een vochtsensor of verzamel grond van een tiental plekken in het perceel. Meet het gewicht van de vochtige grond en het gewicht van de grond na 24 uur drogen, het verschil tussen de twee is een indicatie van het vochtgehalte van het perceel.

Contact & info Bemonsterde laag: 0 - 30 cm
Grondsoort: Zand
Berekende bulkdichtheid: 1414 kg/m³
Monster genomen door: Derden
Contactpersoon monsternamen: Thijmen Schouten: 0852002114

Indien de volgende informatie wordt getoond op de rapporten kan deze informatie verstrekt zijn door de opdrachtgever en van invloed zijn op de waardering, advisering en/of het analyseresultaat: bemonsteringsdiepte, grondsoort, gewas.

Methode	Resultaat	Eenheid	Methode	RvA
Analise resultaten				
N-totale bodemvoorraad	890	mg N/kg	Em: NIRS	Q
3-plantbeschikbaar	1,7	mg S/kg	Em: CCL3 (Gw NEN 17294-2)	
3-totale bodemvoorraad	210	mg S/kg	Em: NIRS	Q
P-plantbeschikbaar	0,6	mg P/kg	Em: CCL3 (Gw NEN 15923-1)	Q
P-bodemvoorraad	14	mg P ₂ O ₅ /100 g	PAL1: Gw NEN 5793	Q
K-plantbeschikbaar	18	mg K/kg	Em: CCL3 (Gw NEN 17294-2)	
K-bodemvoorraad	1,4	mmol+/kg	Em: NIRS	
Ca-plantbeschikbaar	0,6	mmol Ca/l	Em: NIRS	
Ca-bodemvoorraad	51	mmol+/kg	Em: NIRS	
Mg-plantbeschikbaar	22	mg Mg/kg	Em: CCL3 (Gw NEN 17294-2)	
Mg-bodemvoorraad	3,3	mmol+/kg	Em: NIRS	
Na-plantbeschikbaar	< 6	mg Na/kg	Em: CCL3 (Gw NEN 17294-2)	
Na-bodemvoorraad	< 0,4	mmol+/kg	Em: NIRS	
Zuurgraad (pH)	6,8		Em:PHC3(Cf NEN ISO 10390)	Q
C-organisch	1,3	%	Em: NIRS	Q
Organische stof	2,1	%	Em: NIRS	Q
C-anorganisch	0,03	%	Em: NIRS	
Koolzure kalk	0,2	%		
Klei (<2 µm)	3	%	Em: NIRS	
SLR (2-50 µm)	12	%	Em: NIRS	
Zand (>50 µm)	83	%	Em: NIRS	
Klei-humus (CEC)	48	mmol+/kg	Em: NIRS	
Microbiële biomassa	316	mg C/kg	Em: NIRS	
Microbiële activiteit	27	mg N/kg	Em: NIRS	
Schimmel biomassa	63	mg C/kg	Em: NIRS	
Bacteriële biomassa	92	mg C/kg	Em: NIRS	

De op pagina 1 en 2 bij Resultaat vermelde waarden zijn berekend uit bovenstaande analyseresultaten.

Q Methode geaccrediteerd door RvA
Em: Eigen methode, Gw: Gelijkwaardig aan, Cf: Conform

De resultaten zijn weergegeven in droge grond.

Alle verrichtingen zijn binnen de gestelde houdbaarheidsstermijn tussen monsternamen en analyse uitgevoerd.

Het monster is geanalyseerd in het Eurofins Agro laboratorium in Wageningen, tenzij anders is vermeld.

De resultaten hebben uitsluitend betrekking op het aangeleverde materiaal, dat Eurofins Agro heeft ontvangen en in behandeling is genomen op 11-05-2022 en daarmee op het geanalyseerde monster. Nadere omschrijving van de toegepaste monsternamen en analyse methoden is te vinden op www.eurofins-agro.com

Pagina: 5
Totaal aantal pagina's: 5
Rapportidentificatie:
791339/005740440, 19-05-2022



Dit rapport is vrijgegeven onder verantwoordelijkheid van Drs. Ing. J. van Berthuis, Business Unit Manager. Op al onze vormen van dienstverlening zijn onze Algemene Voorwaarden van toepassing. Op verzoek worden deze en/of de specificaties van de analysemethoden toegezonden. Eurofins Agro Testing Wageningen BV stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schade van welke aard ook voortvloeiend uit het gebruik van door of namens ons verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Eurofins Agro Testing Wageningen BV is ingeschreven in het RvA-register voor testlaboratoria zoals nader omschreven in de erkenning onder nr. L122 voor uitsluitend de monsternamings- en/of de analysemethoden.

Bijlage 3: Vegetatieopnames

C_Actio_01

Naam	C_Actio_01
Locatie	Wageningen Campus
Datum opname	10-5-2022
Beheer	Regulier
Aantal soorten	8
Akkervergeet-mij-nietje	Myosotis arvensis
Boterbloem	Ranunculus spec.
Duizendblad	Achillea millefolium
Gestreepte witbol	Holcus lanatus
Gras 1	Poaceae spec.
Madeliefje	Bellis perennis
Mos 1	Bryophyta spec.
Straatgras	Poa annua



C_Alterra_tuin_02

Naam	C_Alterra_tuin_02
Locatie	Wageningen Campus
Datum opname	10-5-2022
Beheer	Ecologisch
Aantal soorten	17
Akkervergeet-mij-nietje	Myosotis arvensis
Boterbloem	Ranunculus spec.
Echte koekoeksbloem	Silene flos-cuculi
Gras 1	Poaceae spec.
Knoopkruid	Centaurea jacea
Klaver	Trifolium spec.
Kruid 1	
Mos 1	Bryophyta spec.
Orchis 1	Dactylorhiza spec.
Pinksterbloem	Cardamine pratensis
Pitrus	Juncus effusus
Smalle weegbree	Plantago lanceolata
Straatgras	Poa annua
Veldzuring	Rumex acetosa
Vogelmuur	Stellaria media
Walstro	Galium spec.
Zegge 1	Carex spec.



C_Alterra_tuin_03

Naam	C_Alterra_tuin_03
Locatie	Wageningen Campus
Datum opname	9-5-2022
Beheer	Ecologisch
Aantal soorten	15
Glanshaver	Arrhenatherum elatius
Boterbloem	Ranunculus spec.
Geknikte vossenstaart	Alopecurus geniculatus
Gewone margriet	Leucanthemum vulgare
Gladde witbol	Holcus mollis
Gras 1	Poaceae spec.
Knoopkruid	Centaurea jacea
Heggenwike	Vicia sepium
Klaver	Trifolium spec.
Mos 1	Bryophyta spec.
Smalle weegbree	Plantago lanceolata
Veldzuring	Rumex acetosa
Zegge 1	Carex spec.
Zegge 2	Carex spec.
Zegge 3	Carex spec.



C_Alterra_tuin_04

Naam	C_Alterra_tuin_04
Locatie	Wageningen Campus
Datum opname	9-5-2022
Beheer	Ecologisch
Aantal soorten	17
Akkervergeet-mij-nietje	Myosotis arvensis
Avondkoekoeksbloem	Silene latifolia
Boterbloem	Ranunculus spec.
Duizendblad	Achillea millefolium
Gestreepte witbol	Holcus lanatus
Gewone margriet	Leucanthemum vulgare
Knolsteenbreek	Saxifraga granulata
Knoopkruid	Centaurea jacea
Gulden sleutelbloem	Primula veris
Klaver	Trifolium spec.
Mos 1	Bryophyta spec.
Pitrus	Juncus effusus
Smalle weegbree	Plantago lanceolata
Straatgras	Poa annua
Walstro	Galium spec.
Zegge 1	Carex spec.
Zilverschoon	Potentilla anserina



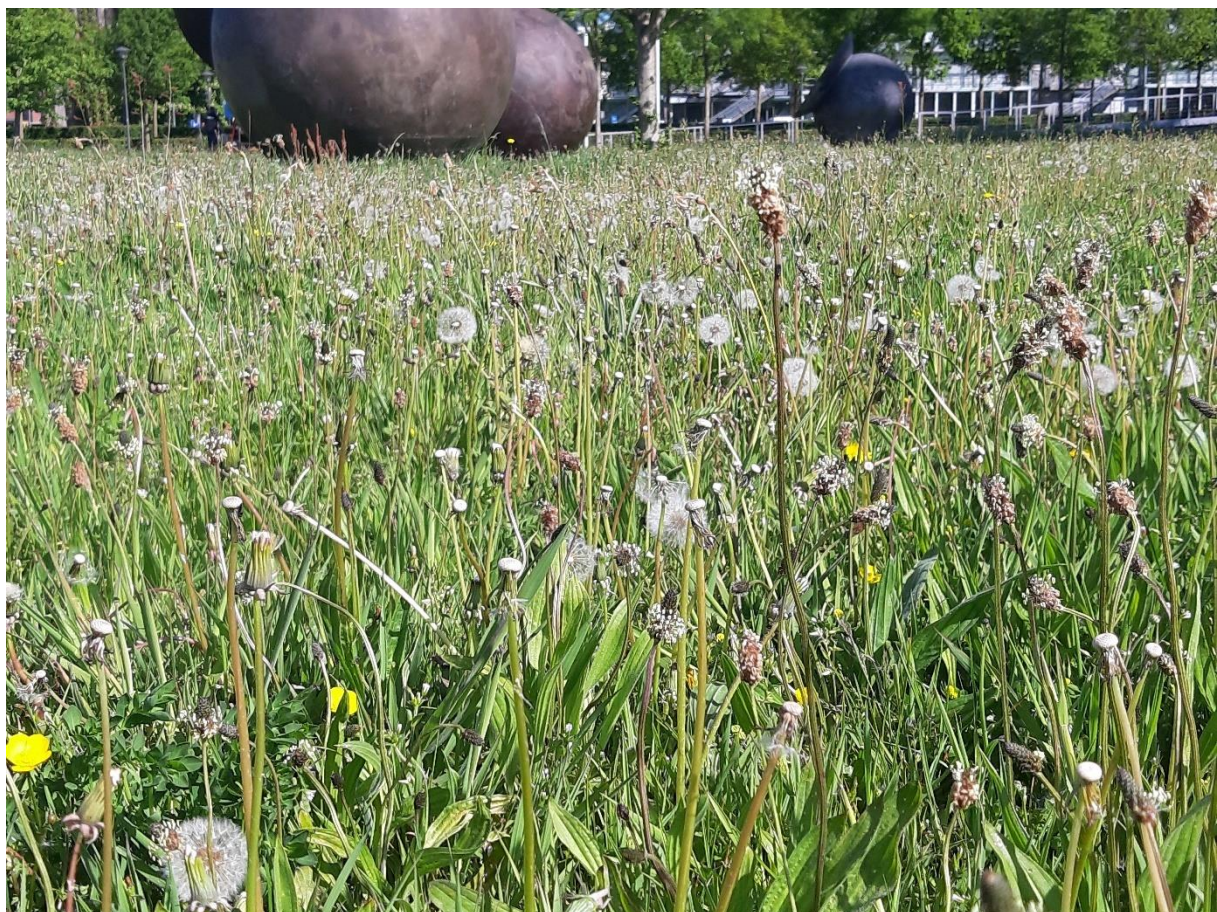
C_Alterra_tuin_05

Naam	C_Alterra_tuin_05
Locatie	Wageningen Campus
Datum opname	10-5-2022
Beheer	Ecologisch
Aantal soorten	17
Biggenkruid	Hypochaeris radicata
Bochtige smele	Avenella flexuosa
Boterbloem	Ranunculus spec.
Geknikte vossenstaart	Alopecurus geniculatus
Gewone margriet	Leucanthemum vulgare
Glad walstro	Galium mollugo
Heggenwikke	Vicia sepium
Klaver	Trifolium spec.
Mos 1	Bryophyta spec.
Peen	Daucus carota
Reukloze kamille	Tripleurospermum maritimum
Smalle weegbree	Plantago lanceolata
Straatgras	Poa annua
Knoopkruid	Centaurea jacea
Veldzuring	Rumex acetosa
Walstro	Galium spec.
Zegge 1	Carex spec.



C_Atlas_01

Naam	C_Atlas_01
Locatie	Wageningen Campus
Datum opname	9-5-2022
Beheer	Regulier
Aantal soorten	10
Akkervergeet-mij-nietje	<i>Myosotis arvensis</i>
Boterbloem	<i>Ranunculus spec.</i>
Heggenwikke	<i>Vicia sepium</i>
Kleine klaver	<i>Trifolium dubium</i>
Madeliefje	<i>Bellis perennis</i>
Paardenbloem	<i>Taraxacum officinale</i>
Oranje havikskruid	<i>Pilosella aurantiaca</i>
Smalle weegbree	<i>Plantago lanceolata</i>
Straatgras	<i>Poa annua</i>
Walstro	<i>Galium spec.</i>



C_Forum_01

Naam	C_Forum_01
Locatie	Wageningen Campus
Datum opname	9-5-2022
Beheer	Regulier
Aantal soorten	7
Boterbloem	Ranunculus spec.
Grassoort 1	Poaceae spec.
Klaver	Trifolium spec.
Kleine klaver	Trifolium dubium
Madeliefje	Bellis perennis
Paardenbloem	Taraxacum officinale
Straatgras	Poa annua



C_NIOO_03

Naam	C_NIOO_03
Locatie	Wageningen Campus
Datum opname	10-5-2022
Beheer	Ecologisch
Aantal soorten	16
Akkerdistel	Cirsium arvense
Gewone berenklauw	Heracleum sphondilium subsp. Sphondilium
Boterbloem	Ranunculus spec.
Gadde witbol	Holcus mollis
Geknikte vossenstaart	Alopecurus geniculatus
Knoopkruid	Centaurea jacea
Grote brandnetel	Urtica dioica
Kleine klaver	Trifolium dubium
Paardenbloem	Taraxacum officinale
Pinksterbloem	Cardamine pratensis
Pitrus	Juncus effusus
Ridderzuring	Rumex obtusifolius
Smalle weegbree	Plantago lanceolata
Veldzuring	Rumex acetosa
Moerasmuur	Stellaria alsine
Vijfvingerkruid	Potentilla reptans



C_NIOO_04

Naam	C_NIOO_04
Locatie	Wageningen Campus
Datum opname	10-5-2022
Beheer	Ecologisch
Aantal soorten	16
Basterdpaardenstaart	Equisetum x litorale Ruprecht
Gewoon jakobskruid	Jacobaea vulgaris subsp. Vulgaris
Zwarte braam	Rubus fruticosus
Akkerdistel	Cirsium arvense
Echte koekoeksbloem	Silene flos-cuculi
Geknikte vossenstaart	Alopecurus geniculatus
Gladde witbol	Holcus mollis
Grote ratelaar	Rhinanthus angustifolius
Paardenbloem	Taraxacum officinale
Pinksterbloem	Cardamine pratensis
Pitrus	Juncus effusus
Rietgras	Phalarium arundinacea
Smalle weegbree	Plantago lanceolata
Straatgras	Poa annua
Vijfvingerkruid	Potentilla reptans
Grote brandnetel	Urtica dioica



C_Orion_01

Naam	C_Orion_01
Locatie	Wageningen Campus
Datum opname	9-5-2022
Beheer	Regulier
Aantal soorten	8
Akkervergeet-mij-nietje	Myosotis arvensis
Madeliefje	Bellis perennis
Paardenbloem	Taraxacum officinale
Rode klaver	Trifolium pratense
Oranje havikskruid	Pilosella aurantiaca
Smalle weegbree	Plantago lanceolata
Straatgras	Poa annua
Walstro	Galium spec.



C_Orion_02

Naam	C_Orion_02
Locatie	Wageningen Campus
Datum opname	9-5-2022
Beheer	Regulier
Aantal soorten	10
Gras 1	Poaceae spec.
Heggenwikke	Vicia sepium
Klaver	Trifolium spec.
Kleine klaver	Trifolium dubium
Mos 1	Bryophyta spec.
Paardenbloem	Taraxacum officinale
Pitrus	Juncus effusus
Smalle weegbree	Plantago lanceolata
Straatgras	Poa annua
Zachte ooievaarsbek	Geranium molle



C_Zodiac_01

Naam	C_Zodiac_01
Locatie	Wageningen Campus
Datum opname	10-5-2022
Beheer	Regulier
Aantal soorten	10
Boterbloem	Ranunculus spec.
Duizendblad	Achillea millefolium
Gestreepte witbol	Holcus lanatus
Kleine klaver	Trifolium dubium
Madeliefje	Bellis perennis
Mos 1	Bryophyta spec.
Muizenoor	Pilosella officinarum
Paardenbloem	Taraxacum officinale
Smalle weegbree	Plantago lanceolata
Zachte ooievaarsbek	Geranium molle



C_Zodiac_02

Naam	C_Zodiac_02
Locatie	Wageningen Campus
Datum opname	10-5-2022
Beheer	Regulier
Aantal soorten	7
Gewoon jakobskruid	Jacobaea vulgaris subsp. Vulgaris
Klaver	Trifolium spec.
Kleine klaver	Trifolium dubium
Madeliefje	Bellis perennis
Paardenbloem	Taraxacum officinale
Robertskruid	Geranium robertianum
Straatgras	Poa annua



Bijlage 4: Luchtfoto's Bodemleeftijdsonderzoek



Foto 1: Luchtfoto 2007 (Esri Nederland & Kadaster, 2007) met groene punten aangegeven bodemsample locaties: C_Forum_01, C_Orion_01, C_Orion_02 en C_Atlas_01. De witte lijnen geven de omtrek van het oppervlak weer waarover de NDVI waarden zijn berekend.



Foto 2: Luchtfoto 2007 (Esri Nederland & Kadaster, 2007). Met groene punten aangegeven bodemsample locaties: C_Zodiac_01 en C_Zodiac_02. De witte lijnen geven de omtrek van het oppervlak weer waarover de NDVI waarden zijn berekend.

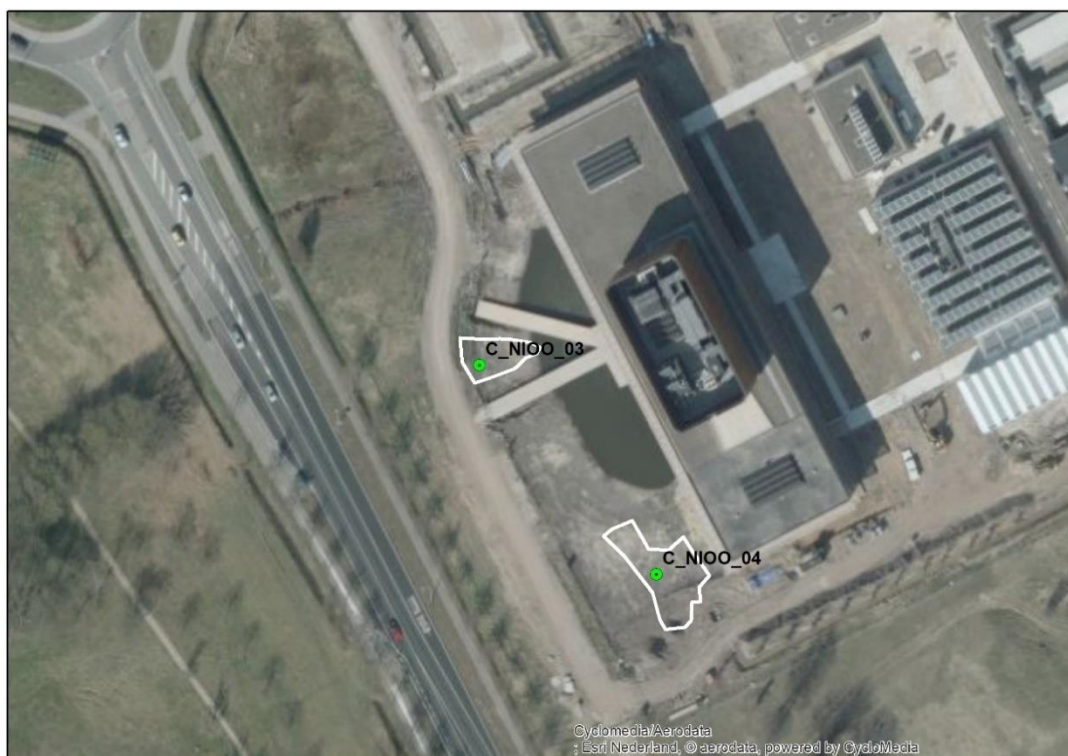


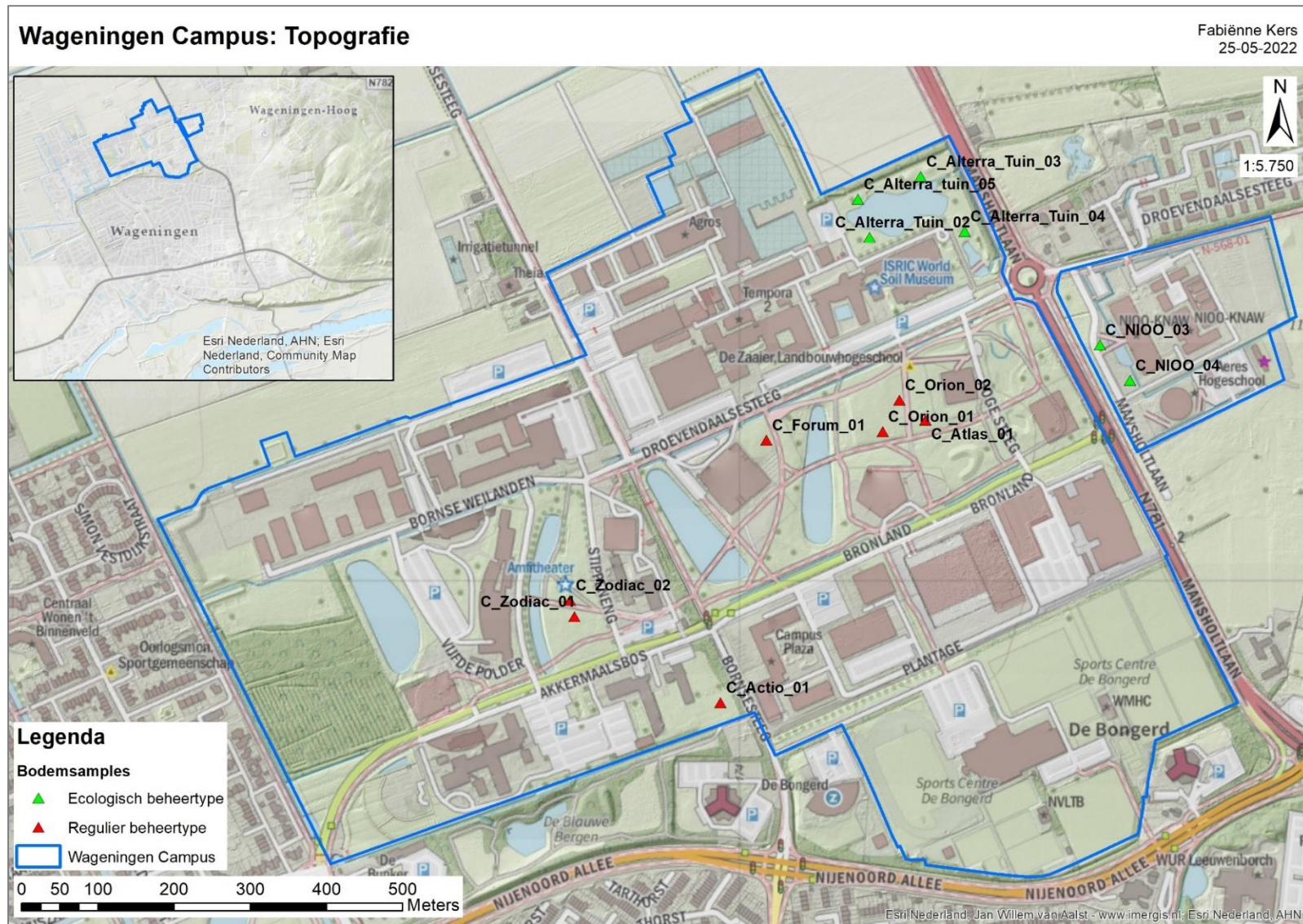
Foto 3: Luchtfoto 2011 (ESRI Nederland & Kadaster, 2016). Met groene punten aangegeven bodemsample locaties: C_NIOO_03 en C_NIOO_04. De witte lijnen geven de omtrek van het oppervlak weer waarover de NDVI waarden zijn berekend.



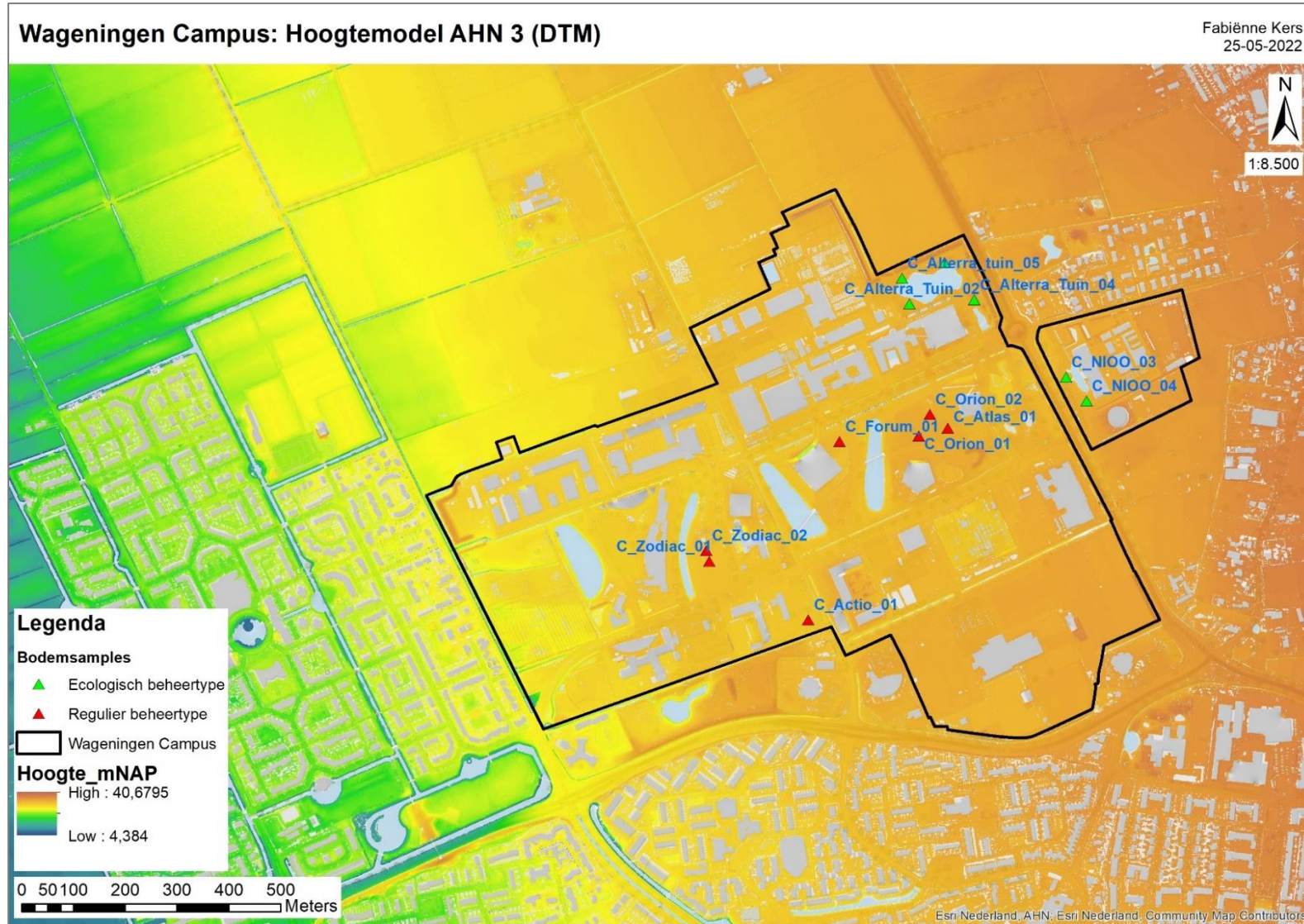
Foto 4: Luchtfoto 2013 (Esri Nederland & Kadaster, 2007) met groene punt aangegeven bodemsample locaties: C_Actio_01. De witte lijnen geven de omtrek van het oppervlak weer waarover de NDVI waarden zijn berekend.



Foto 5: Luchtfoto 2016 (ESRI Nederland & CycloMedia, 2013). Met groene punten aangegeven bodemsample locaties: C_Zodiac_01 en C_Zodiac_02. De witte lijnen geven de omtrek van het oppervlak weer waarover de NDVI waarden zijn berekend.

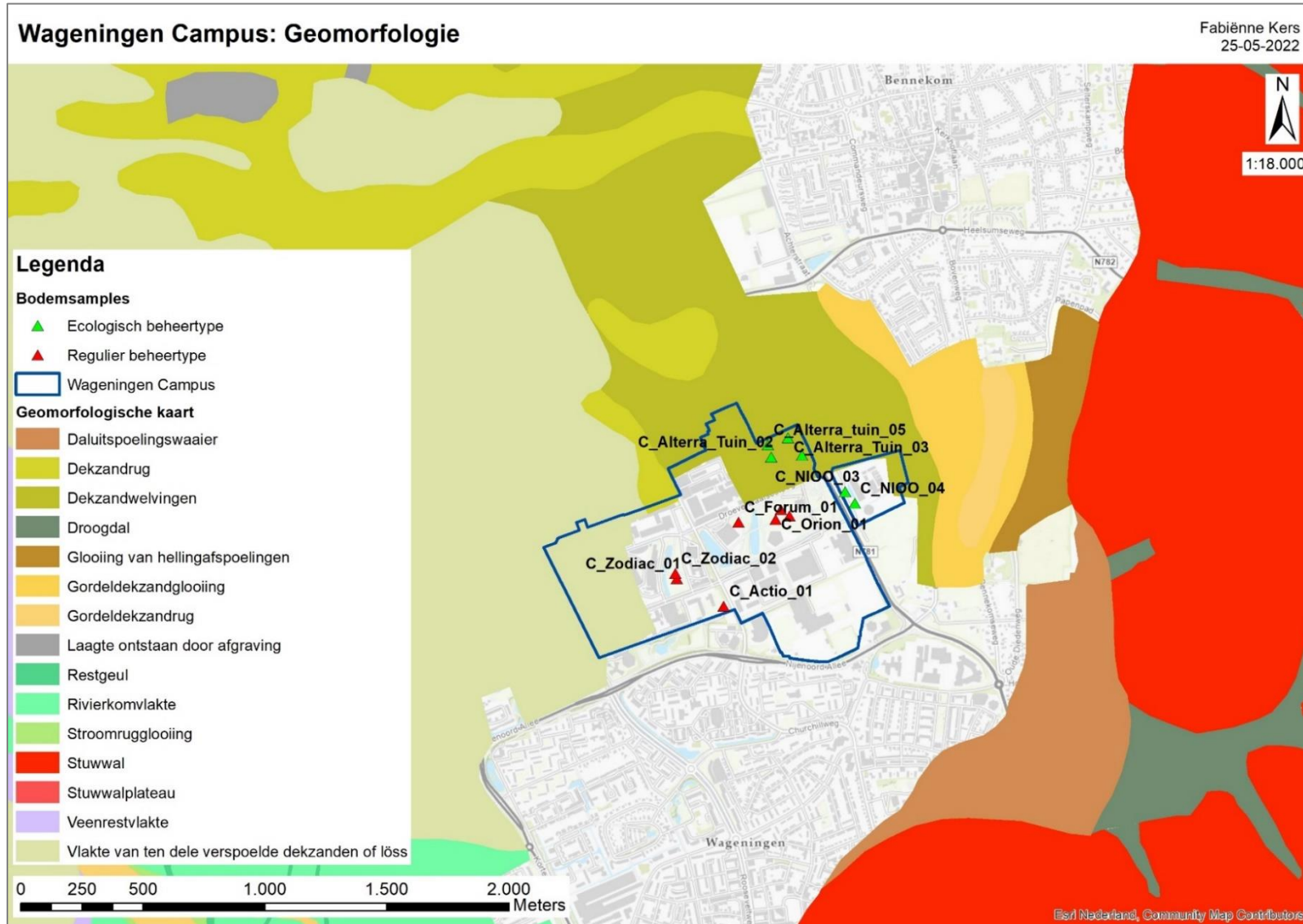


Bijlage 6: Wageningen Campus: Hoogtemodel AHN 3
(Algemeen Hoogtebestand Nederland, 2021) & (Kadaster, 2022)



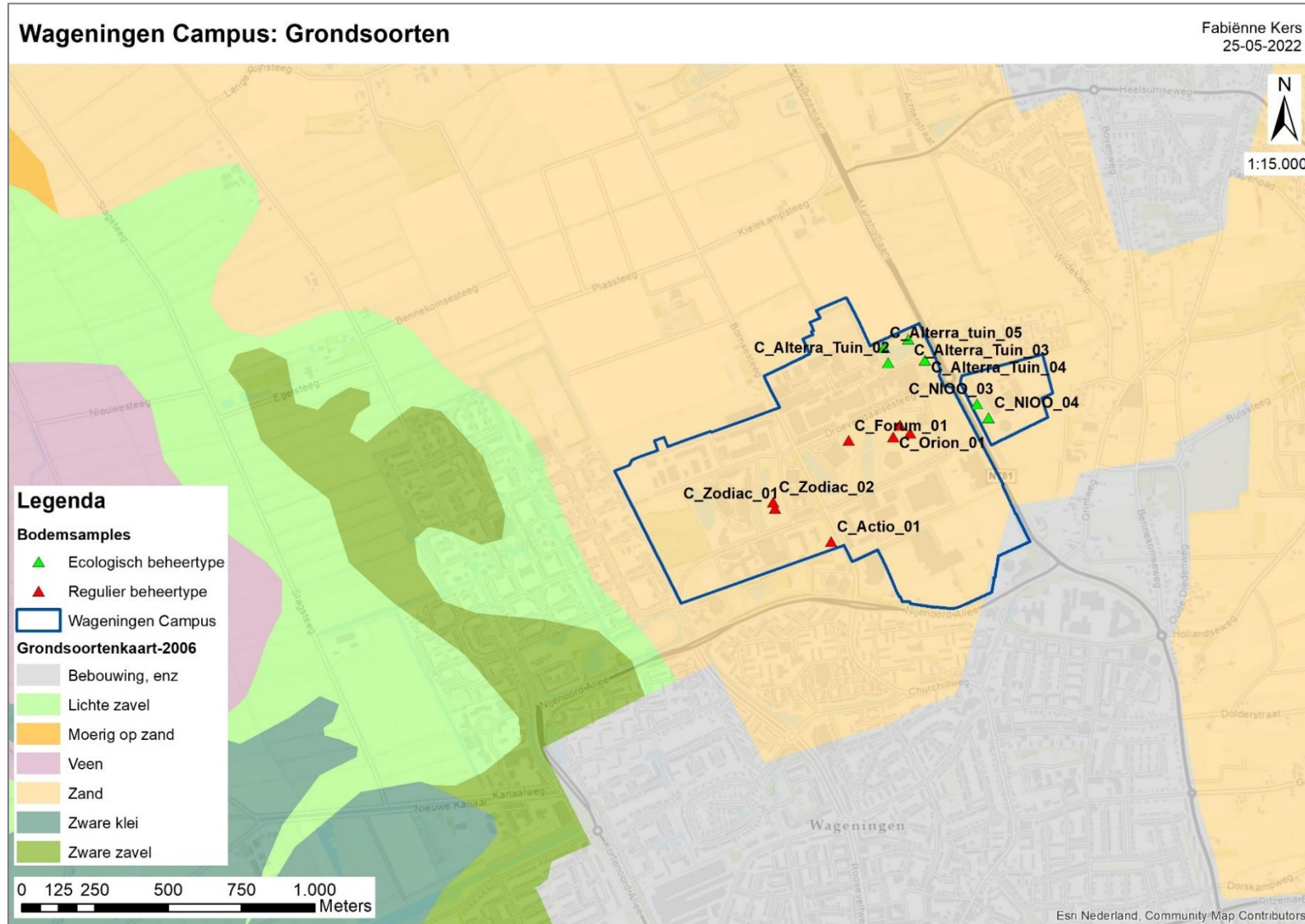
Bijlage 7: Wageningen Campus: Geomorfologie

(Wageningen Environmental Research, 2019) & (Kadaster, 2022)

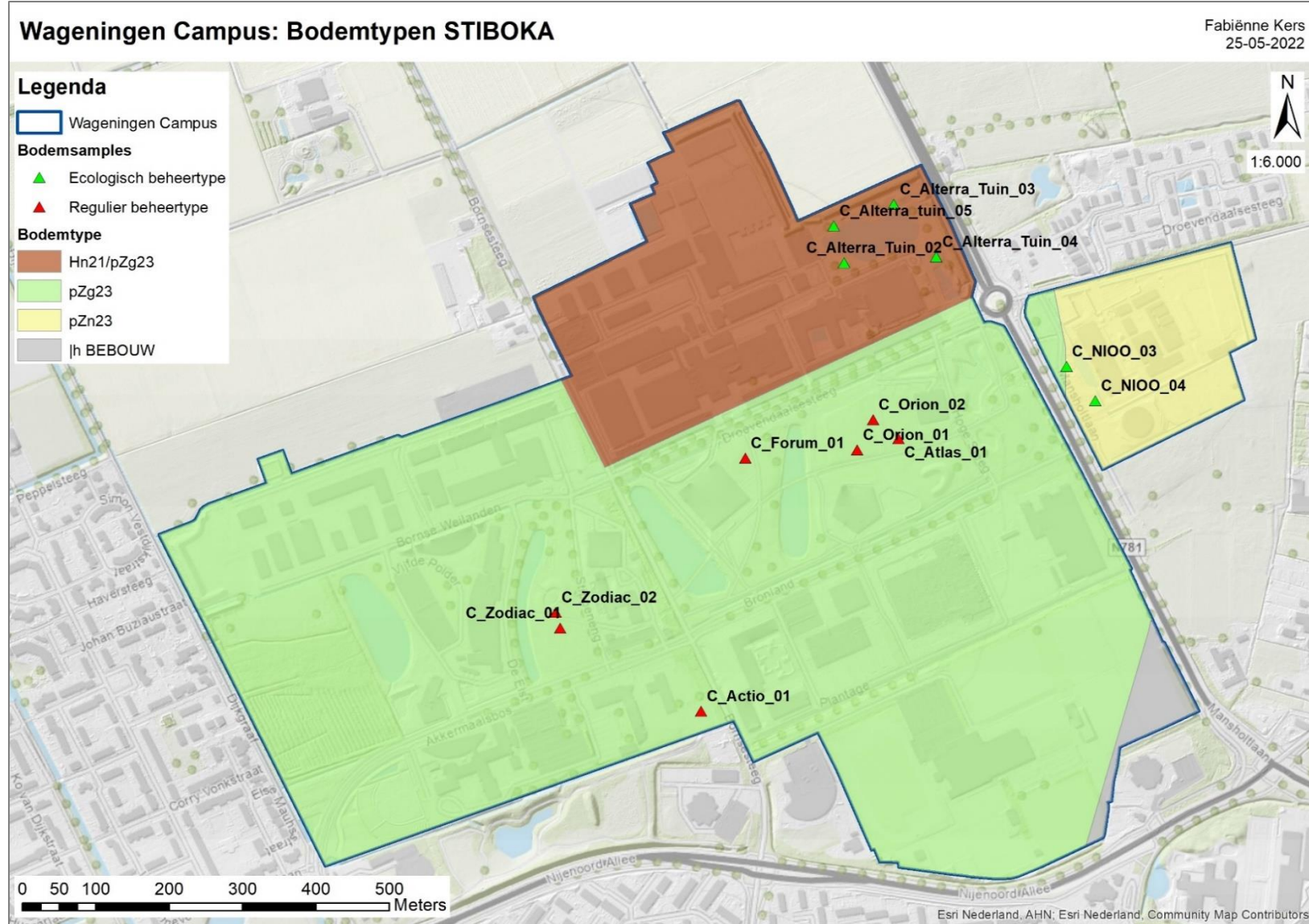


Bijlage 8: Wageningen Campus: Grondsoorten

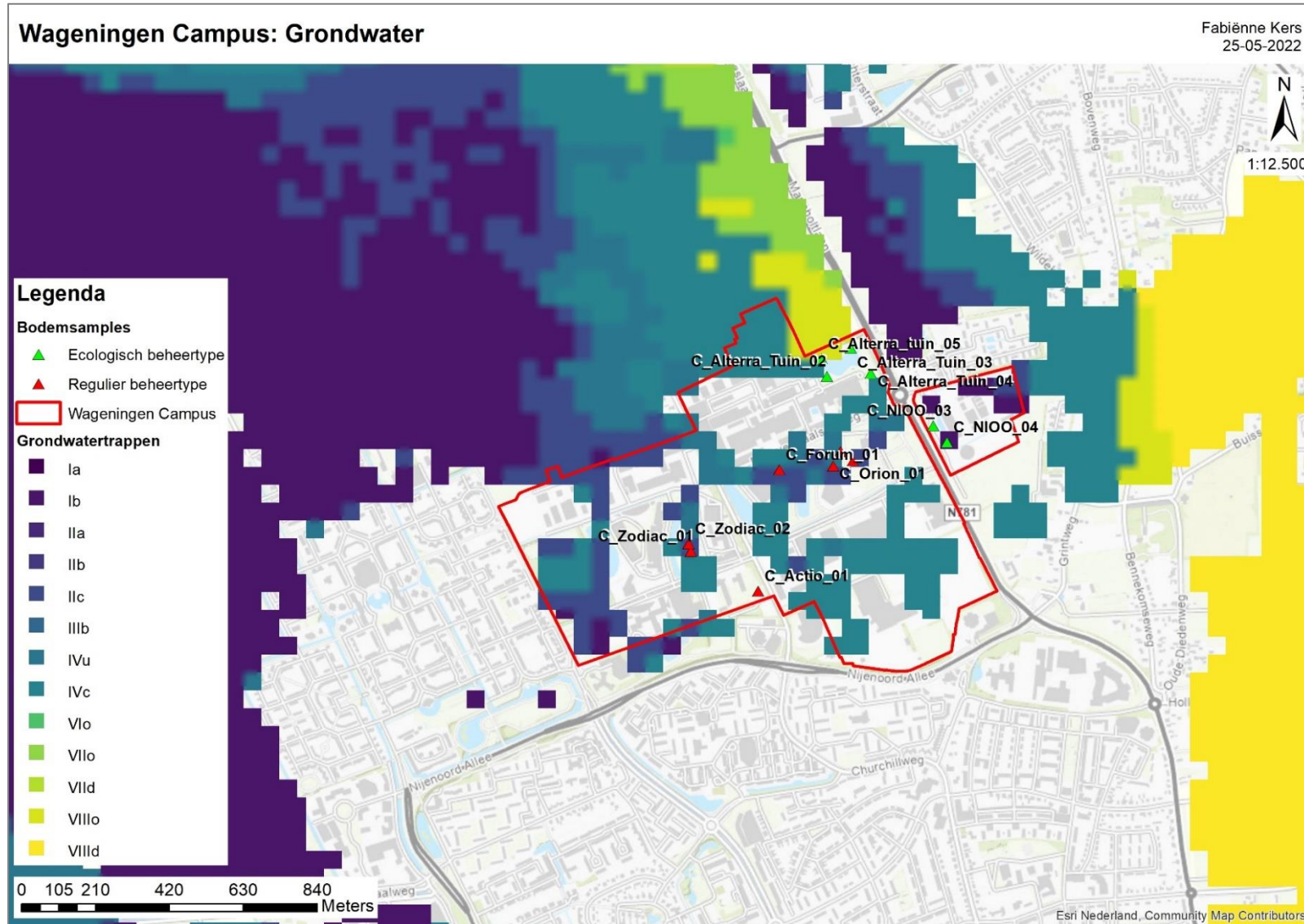
(Wageningen Environmental Research, 2006) & (Kadaster, 2022)



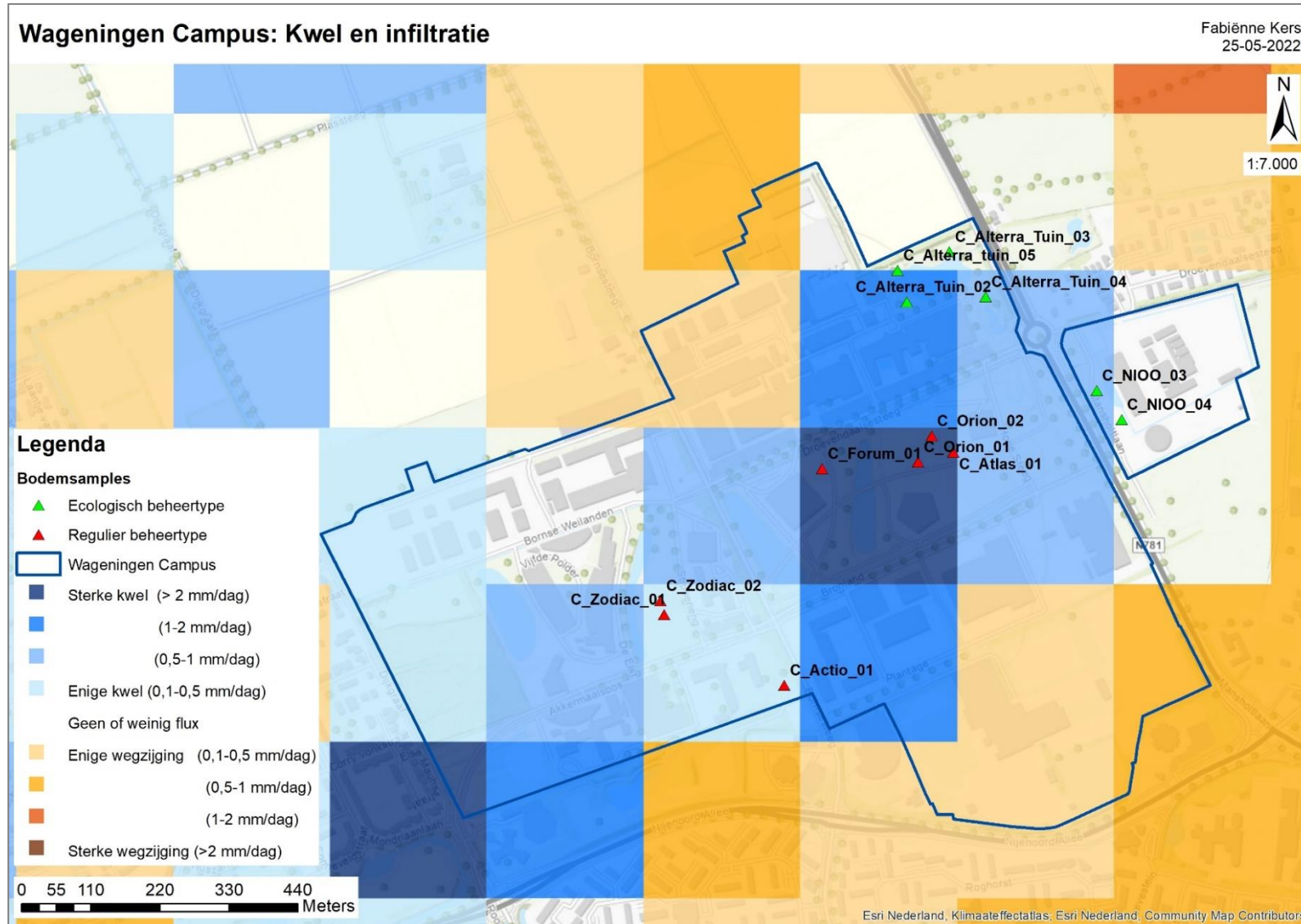
Bijlage 9: Wageningen Campus: Bodemtypen
(Wageningen Environmental Research, 2017) & (Kadaster, 2022)



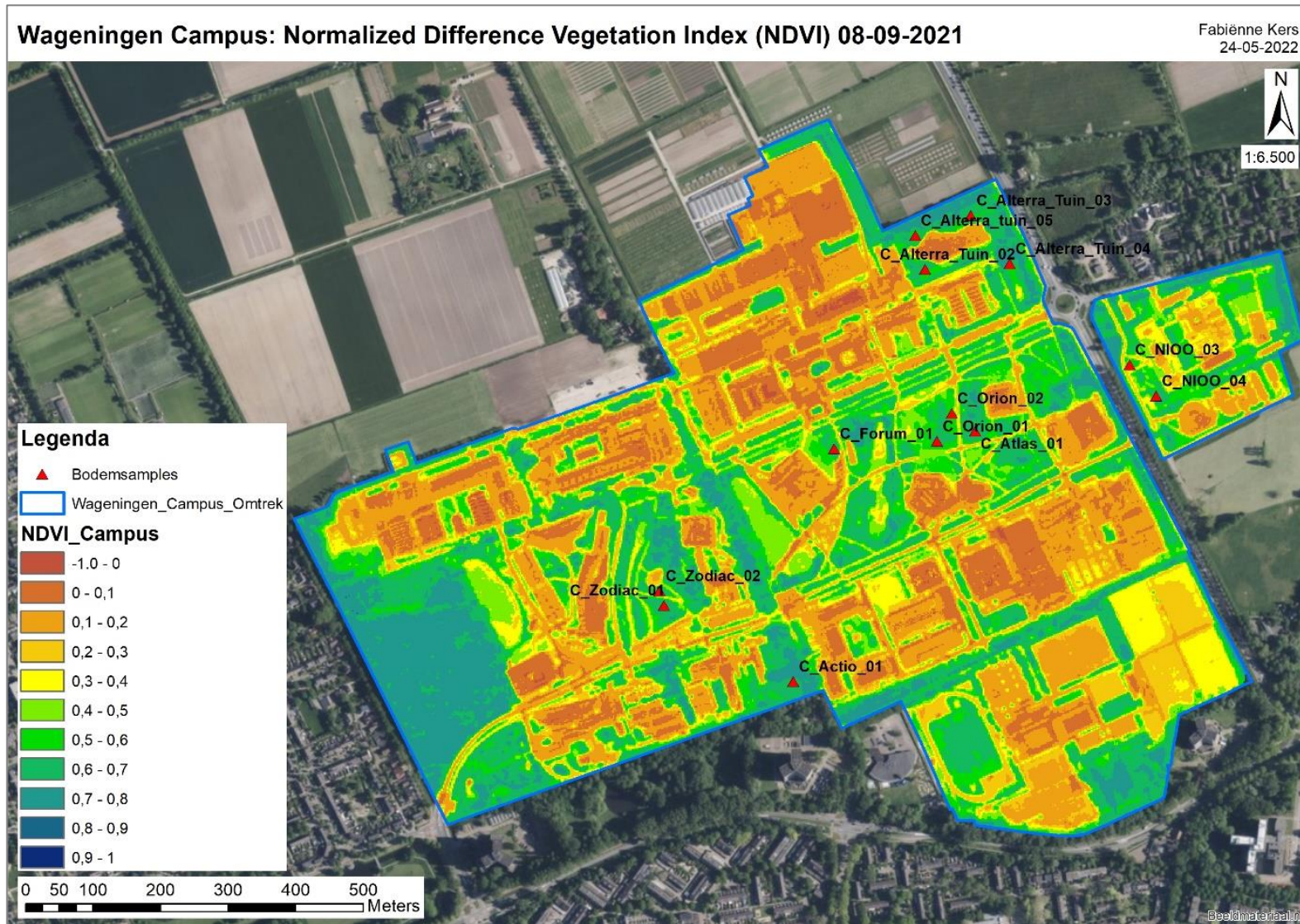
Bijlage 10: Wageningen Campus: Grondwater
(Geodanlabs. Grondwatertrappen, 2021) & (Kadaster, 2022)



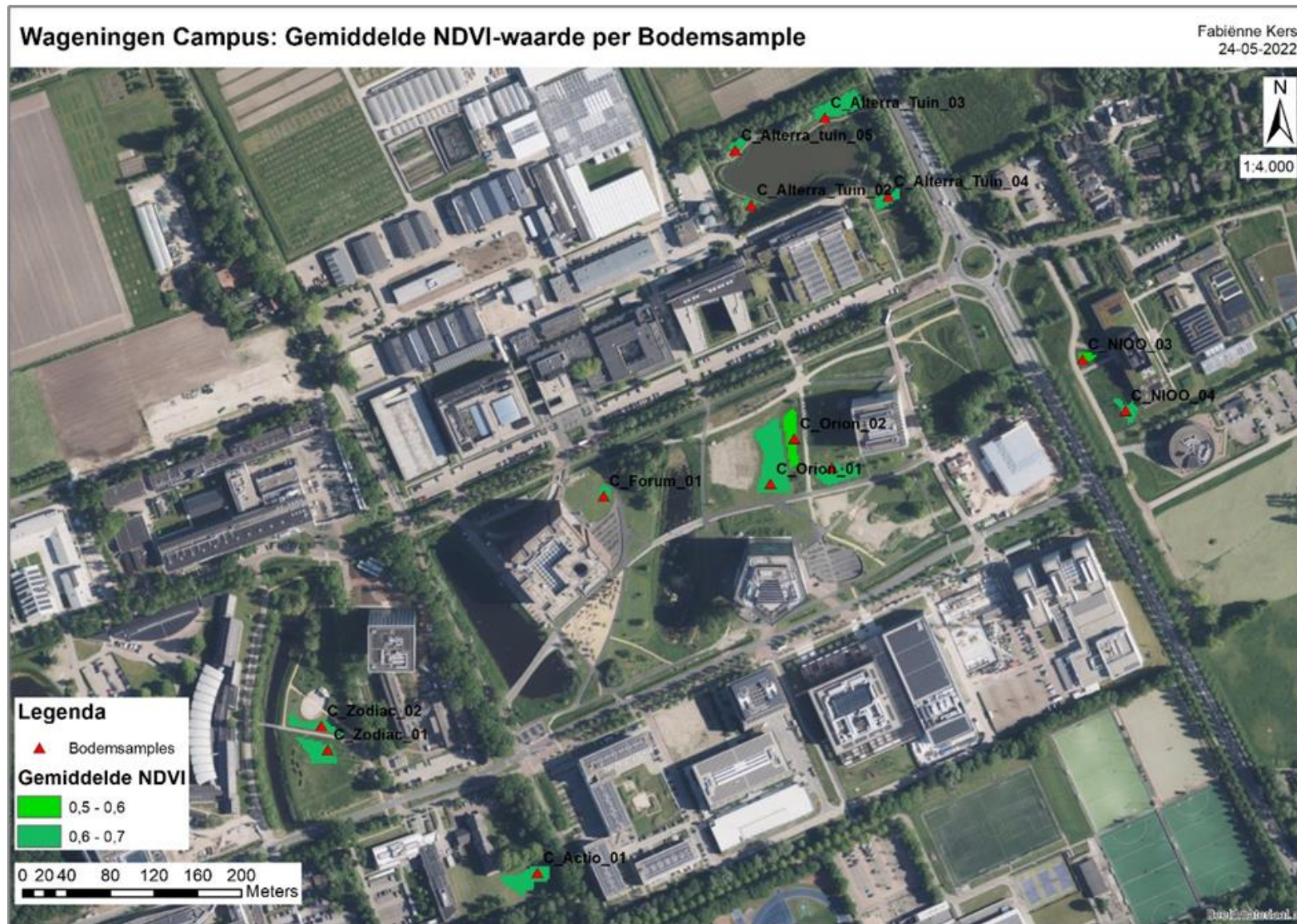
Bijlage 11: Wageningen Campus: Kwel en Infiltratie kaart
(ESRI Nederland & Klimaateffectatlas, 2021) & (Kadaster, 2022)



Bijlage 12: Wageningen Campus: NDVI-waarden
(Kadaster, 2022)



Bijlage 13: Wageningen Campus: Gemiddelde NDVI-waarden



Bijlage 14: Tabel Totaal aan Onderzoeksresultaten

In het blauw staan de resultaten uit het GIS-onderzoek weergegeven, in het donkergroen de resultaten uit de vegetatieopname, in het lichtgroen de resultaten uit het bodemonderzoek en in het geel de laboratoriumresultaten.

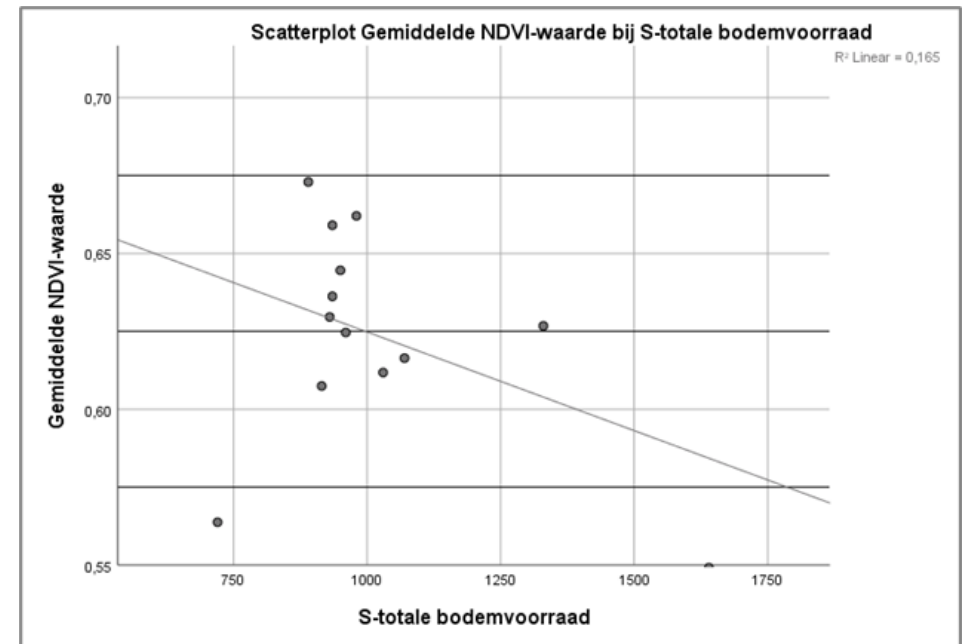
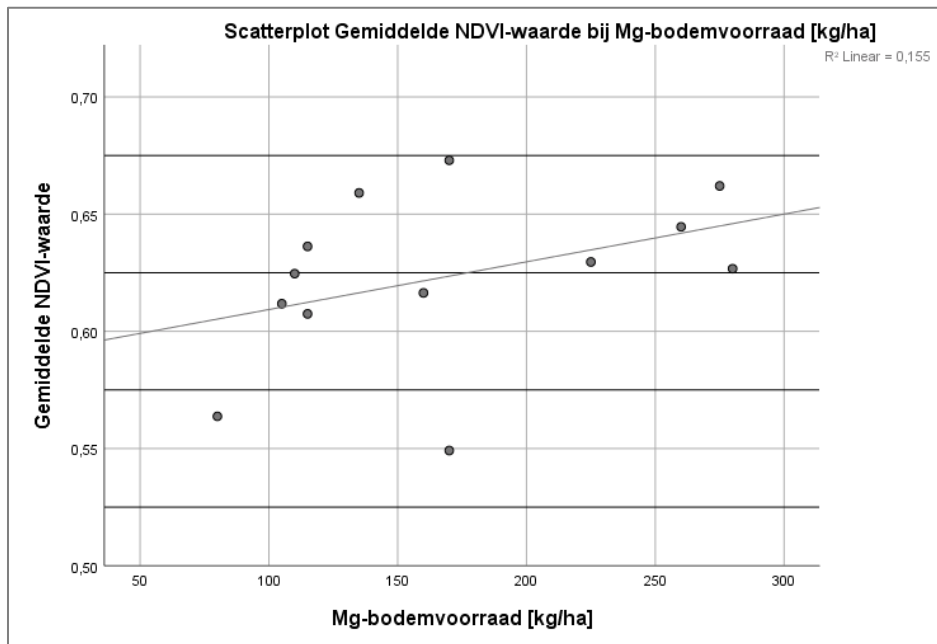
De gekleurde resultaten representeren de prioritaire bodemparameters volgens project Onder het Maaiveld en de eigen toevoegingen daarop (zie paragraaf 2.1.3 en 3.2.3).

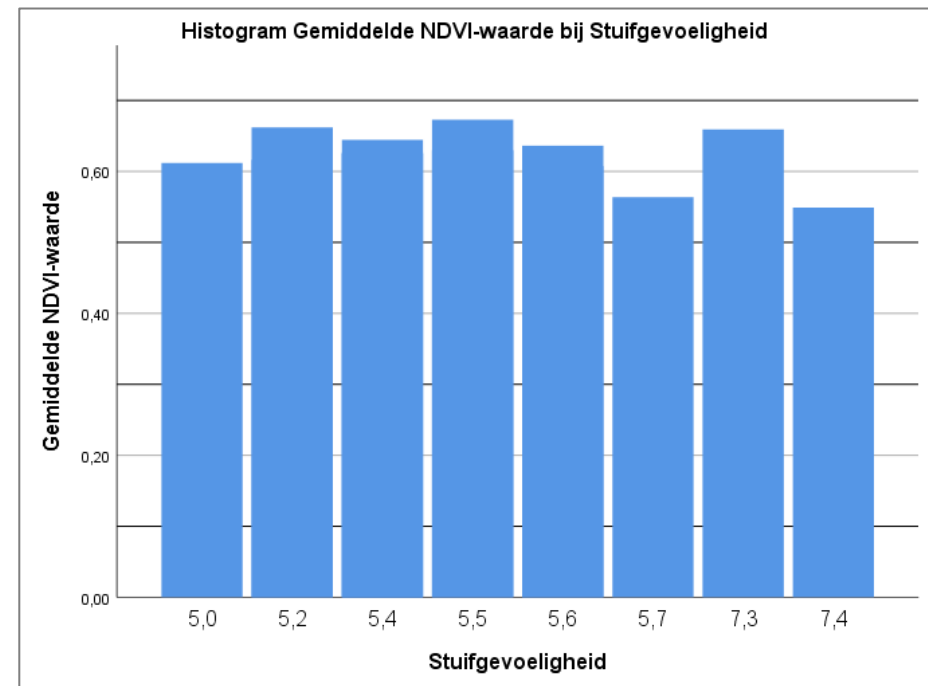
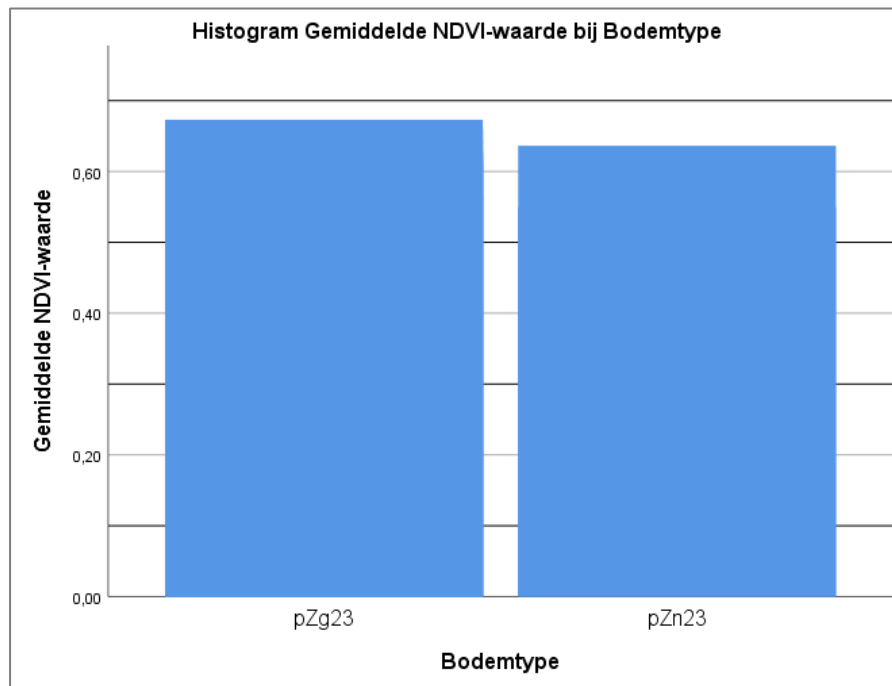
Bodemsample	Naam	C_Actio_01	C_Alterra_tuin_02	C_Alterra_tuin_03	C_Alterra_tuin_04	C_Alterra_tuin_05	C_Atlas_01	C_Forum_01	C_NIOO_03	C_NIOO_04	C_Orion_01	C_Orion_02	C_Zodiac_01	C_Zodiac_02	GEM
GIS-onderzoek	Bodemtype	p2g23	p2g23	p2g23	p2g23	p2g23	p2g23	p2g23	p2g23	p2g23	p2g23	p2g23	p2g23	p2g23	
	Grondsoort	Zand	Zand	Zand	Zand	Zand	Zand	Zand	Zand	Zand	Zand	Zand	Zand	Zand	
	Gemiddelde NDVI-waarde	0,67	0,66	0,63	0,66	0,61	0,63	0,64	0,55	0,64	0,61	0,56	0,62	0,62	0,62
	Bodemleeftijd [Jaar]	9	24	24	24	24	15	15	11	11	15	15	15	6	16
Vegetatieopname	Vegetatietype	Voedselrijk	Kruidenrijk	Kruidenrijk	Kruidenrijk	Kruidenrijk	Voedselrijk	Voedselrijk	Kruidenrijk	Kruidenrijk	Voedselrijk	Voedselrijk	Voedselrijk	Voedselrijk	
	Aantal plantensoorten	8	17	15	17	17	10	16	16	16	10	10	10	7	12
	Sample Datum	10-5-2022	9-5-2022	9-5-2022	9-5-2022	9-5-2022	9-5-2022	9-5-2022	10-5-2022	10-5-2022	9-5-2022	9-5-2022	10-5-2022	10-5-2022	
	Weersomstandigheden	Bewolkt	Zonnig	Zonnig	Zonnig	Zonnig	Bewolkt	Bewolkt	Zonnig	Zonnig	Zonnig	Zonnig	Bewolkt	Bewolkt	
Bodemonderzoek	Beheertype	Regulier	Ecologisch	Ecologisch	Ecologisch	Ecologisch	Regulier	Regulier	Ecologisch	Ecologisch	Regulier	Regulier	Regulier	Regulier	
	Schatting Bodemkwaliteit	Slecht	Matig	Goed	Goed	Goed	Matig	Matig	Goed	Matig	Slecht	Matig	Slecht	Slecht	
	Doorworteling	Matig	Intensief	Intensief	Intensief	Intensief	Matig	Matig	Intensief	Matig	Matig	Matig	Intensief	Matig	
	Aantal Regenwormen	3	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0,5
Laboratorium	Waterdoorlaatbaarheid [min/500ml]	30	12	11	8	15	10	20	25	6	25	10	9	20	15
	Datum Monstername	10-5-2022	10-5-2022	10-5-2022	10-5-2022	10-5-2022	10-5-2022	10-5-2022	10-5-2022	10-5-2022	10-5-2022	10-5-2022	10-5-2022	10-5-2022	
	Datum Verslag	19-5-2022	19-5-2022	19-5-2022	19-5-2022	19-5-2022	19-5-2022	19-5-2022	19-5-2022	19-5-2022	19-5-2022	19-5-2022	19-5-2022	19-5-2022	
	Diepte Sample [cm]	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
	Al-bez	0,1	0,1	1,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	Bacteriële biomassa [mg C/kg]	92	106	201	124	131	204	134	225	76	106	100	149	97	134
	Berekende bulkdichtheid [kg/m³]	1414	1208	1194	1244	1385	1324	1197	1286	1414	1226	1259	1394	1370	1301
	C/N-ratio	15	13	11	12	13	12	14	12	11	14	16	13	13	13
	C/OS-ratio	0,62	0,55	0,54	0,52	0,52	0,53	0,56	0,53	0,48	0,54	0,58	0,56	0,5	0,5
	C/S-ratio	62	66	78	47	63	63	76	60	46	54	57	61	57	61
	Ca-bezetting [%]	90	85	55	92	92	90	83	68	93	94	92	76	93	85
	Ca-bodemvoorraad [mmol+/kg]	51	46	26	65	42	82	57	44	50	64	40	26	68	51
	Ca-bodemvoorraad [kg/ha]	3680	3255	1570	4045	3440	6035	4100	3060	3945	4385	2785	2180	5200	3668
	C-anorganisch [%]	0,03	0,04	0,04	0,06	0,04	0,09	0,04	0,05	0,05	0,23	0,05	0,03	0,15	0,07
	Ca-plantbeschikbaar [kg/ha]	205	30	30	30	65	225	115	30	35	385	30	170	200	119
	Ca-plantbeschikbaar [mmol/l]	0,6	0,1	0,1	0,1	0,2	0,7	0,4	0,1	0,1	1,3	0,1	0,5	0,6	0,4
	CEC-Bez. [%]	100	100	72	100	100	100	97	78	100	100	100	88	100	95
	C-organisch [%]	1,3	1,8	2	1,2	1,4	2,1	2	2,6	1	1,5	1,1	1,4	1,5	1,6
	H-bezetting [%]	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	K-bezetting [%]	2,9	3	2,5	1,9	2,2	2,3	4,1	2,6	2,8	1,3	3	4,4	1,9	2,7
	K-bodemvoorraad [kg/ha]	230	225	140	160	160	295	395	225	230	115	175	245	210	216
	K-bodemvoorraad [mmol+/kg]	1,4	1,6	1	1,1	1	1,9	2,8	1,5	1,4	0,8	1,2	1,5	1,3	1,4
	K-getal	16	6	7	6	8	13	7	7	8	6	6	14	19	9
	Klei-humus (CEC) [mmol+/kg]	48	53	40	59	45	84	69	58	50	63	40	34	68	55
	Koolzure kalk [%]	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	0,7	0,4	0,4	0,4	1,9	0,4	0,2	1,2	0,5
	K-plantbeschikbaar [mg/kg]	18	12	23	8	10	17	17	15	9	13	11	13	30	15
	Lutum [%]	3	3	3	4	3	2	3	5	3	2	2	2	2	3
	Mg-bezetting [%]	6,9	12	13	5,1	5,1	6,9	8,6	6,2	4,4	3,8	4,3	6,5	4,7	6,7
	Mg-bodemvoorraad [kg/ha]	170	275	225	135	115	280	260	170	115	105	80	110	160	169
	Mg-bodemvoorraad [mmol+/kg]	3,3	6,2	5,2	3	2,3	5,8	5,9	3,6	2,2	2,4	1,7	2,2	3,2	3,6
	Mg-plantbeschikbaar [mg/kg]	22	37	32	22	29	44	31	33	24	39	28	17	24	29
	Microbiële activiteit [mg N/kg]	27	31	61	25	34	64	44	55	22	65	29	32	35	40
	Microbiële biomassa [mg C/kg]	316	336	467	313	325	602	374	577	197	297	251	520	228	369
	Na-bezetting [%]	0,1	0,8	1,5	1,4	0,9	0,6	0,9	0,9	0,1	0,5	0,8	1,2	0,6	0,8
	Na-bodemvoorraad [kg/ha]	40	35	50	70	40	45	50	45	40	25	25	40	40	42
	Na-bodemvoorraad [mmol+/kg]	0,4	0,4	0,6	0,8	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
	Na-plantbeschikbaar [mg/kg]	6	8	6	5	5	6	6	8	5	6	7	6	6	6
	N-Leverenvermogen [kg/ha]	50	75	115	60	70	115	75	135	65	55	30	70	70	76
	N-Totale bodemvoorraad [kg/ha]	3780	5070	6370	3690	4570	6910	5170	7980	4030	3820	2640	4560	4560	4858
	N-Totale bodemvoorraad [mg/kg]	890	1400	1780	990	1100	1740	1440	2070	1040	1040	700	1090	1110	1254
	Organische stof gehalte [%]	2,1	3,3	3,7	2,3	2,7	4	3,6	4,9	2,1	2,8	1,9	2,5	3	3

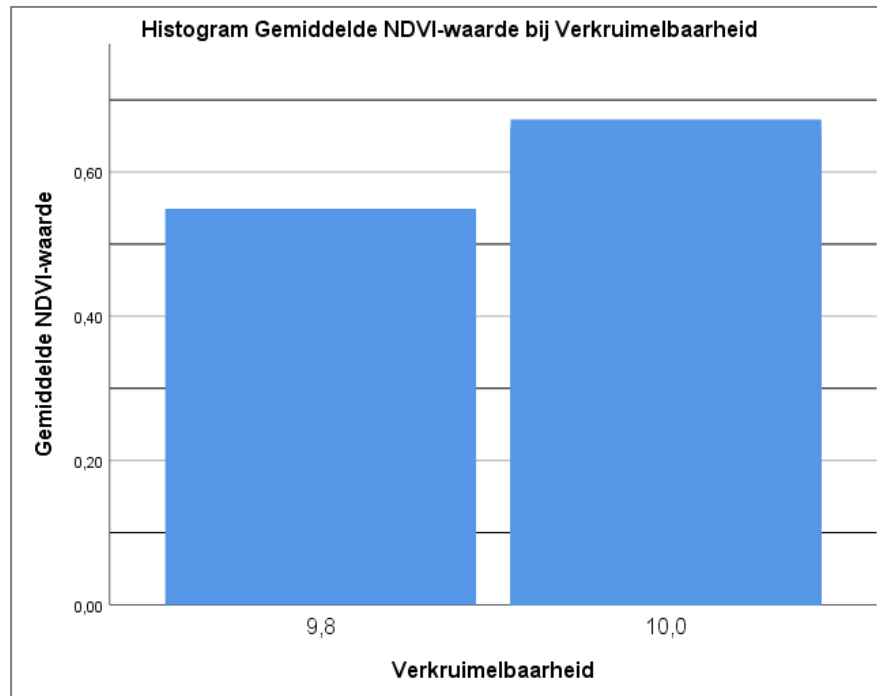
P-bodemvoorraad [kg/ha]	[kg/ha]	260	410	80	80	90	625	910	490	240	240	130	130	630	332
P-bodemvoorraad [mg/kg]	[mg P2O5/100 g]	14	26	5	5	5	36	58	29	13	15	8	7	35	20
pF 2.0	[%]	20,4	25,7	27,9	26,1	22,1	24,3	27,3	28,2	20,8	24,1	25,2	21	21,2	24,2
pF 4.2	[%]	3,3	4,4	5,4	4,7	3,9	4,5	5,1	7,3	3,4	3,5	3,8	3,3	3,4	4,3
pH		6,8	5,6	4,7	7,3	5,6	7,2	6,1	5	6,9	7,4	7	5,6	7,4	6,4
pH_NIR			5,6	4,7		5,6		6,1	5				5,6		2,5
pH-CaCl2		6,8			7,3		7,2			6,9	7,4	7		7,4	3,8
P-plantbeschikbaar	[mg/kg]	0,6	0,6	0,3	0,3	0,2	1,9	1,2	0,4	0,7	0,4	0,5	0,6	1,3	0,7
Saanv		18	19	16	21	18	25	17	31	22	22	16	19	22	20
S-bodemvoorraad	[mg P ² O ⁵ /100 g]	210	270	260	250	220	335	265	425	220	280	190	230	260	263
Schimmel biomassa	[mg C/kg]	63	43	178	123	123	184	89	151	56	124	90	120	88	110
Schimmel/bacterie-Ratio	ratio	0,7	0,4	0,9	1	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	1,2	0,9	0,8	0,9	0,8
Silt	[%]	12	9	12	14	13	12	11	16	13	8	15	12	10	12
S-leverend vermogen	[kg/ha]	14	15	12	17	14	21	13	27	18	18	12	15	18	16
S-plantbeschikbaar	[mg/kg]	1,7	1,1	1,1	1,4	1,1	1,3	1,3	3,2	2,1	1,5	1,1	1,1	1,9	1,5
S-totale bodemvoorraad	[kg/ha]	890	980	930	935	915	1330	950	1640	935	1030	720	960	1070	1022
Stuifgevoeligheid	rapportcijfer	5,5	5,2	5,5	7,3	5,6	5,4	5,4	7,4	5,6	5	5,7	5,4	5,2	5,7
Verkruijmelbaarheid	rapportcijfer	10	10	10	10	10	10	10	9,8	10	10	10	10	10	10
Verslumping	rapportcijfer	7,4	7,7	7,7	7,5	7,5	7,8	7,7	8,1	7,4	7,6	7,4	7,5	7,6	7,6
Vocht		0,7	0,8	0,9	0,7	0,7	0,8	1	1,1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8
Zand	[%]	83	84	81	79	81	81	82	74	82	85	81	84	84	82

Bijlage 15: Grafieken bij statistische berekeningen

Gemiddelde NDVI-waarde / Bodemeigenschappen:







Vegetatie / Bodemeigenschappen:

