

4 juli 2018



VOEDSELBOS KETELBROEK

EEN ZEGEN IN DE DRUP?

WATERBALANS VAN VOEDSELBOS KETELBROEK

LILY SIEPEL
DERIKE VELTHUIS
WESSEL ZONDERGELD
WIESJE SCHIMMEL

VAN HALL LARENSTEIN
Velp

Waterschap Limburg
Marco de Redelijkheid

Voedselbos Ketelbroek

Een zegen in de drup?

Waterbalans van voedselbos Ketelbroek

Auteurs: Lily Siepel, Derike Velthuis, Wessel Zondergeld en Wiesje Schimmel

Studentennummers: 13309, 13908, 950725001, 13463

Klas & Projectgroep: Land- en Watermanagement 2e Jaar, klassen 2A&DGO

Module: Toegepaste onderzoeken

Projectbegeleider: Peter Groenenhuizen

Velp, 4 July 2018



Voorwoord

In het rapport 'Zegen in de drup?' wordt onderzoek uitgevoerd naar de waterhuishouding van voedselbossen. Het onderzoek voor dit project is uitgevoerd bij voedselbos Ketelbroek en het naastgelegen akker als referentiegebied.

De veldwerkgegevens zijn afkomstig van het voedselbos Ketelbroek, waar wij met open armen werden ontvangen door de beheerder Wouter van Eck. Door de afspraken met Wouter zijn wij veel informatie rijker geworden van zowel voedselbos Ketelbroek als het omliggende gebied. Bij deze willen wij Wouter van Eck enorm bedanken voor zijn gastvrijheid.

Er zijn maar weinig exacte gegevens over voedselbossen en hun watersystemen waardoor het in de startperiode van het project soms een lastige opgave was om relevante betrouwbare bronnen te vinden. Met behulp van goede begeleiding van docenten op school hebben we het project met betrouwbare bronnen kunnen opstellen.

Het onderzoek is geschreven in het kader van de periode Toegepast onderzoeken aan de opleiding Land- en watermanagement op het Van Hall Larenstein in Velp.

Samenvatting

Het concept voedselbossen is nog maar vrij jong. Er is nog maar vrij weinig kennis over dit concept. Het is tot nu toe onbekend wat de verschillende componenten in het watersysteem zijn en wat de relaties van de componenten onderling zijn. Met het oog op toekomstige waterbergingsproblemen, is het de missie van Waterschap Limburg om meer kennis te vergaren over het watersysteem in een voedselbos. Voedselbossen hebben wellicht een groter waterbergend vermogen dan akkers en bossen. In dit onderzoek wordt onderzocht hoe de waterhuishouding in een voedselbos functioneert. Er wordt hiervoor onderzoek verricht in één specifiek voedselbos. Dit voedselbos betreft voedselbos Ketelbroek te Groesbeek.

In dit rapport wordt gepoogd antwoord te krijgen op de vraag: 'Wat zijn kenmerkende componenten in de waterbalans van het voedselbos Ketelbroek?' Voor het beantwoorden van de hoofdvraag, is het onderzoek zo opgebouwd dat er wordt gekeken van groot naar klein. Eerst worden de algemene principes beschreven. Hierbij wordt weergegeven wat een voedselbos inhoudt met daarbij de kenmerken van een voedselbos, het watersysteem en de verschillen in voedselbossen. Met de kennis van een algemeen voedselbos, wordt er vervolgens ingegaan op het projectgebied. Door middel van meerdere bezoeken en rondleidingen aan het Voedselbos Ketelbroek, is er algemene en specifieke informatie verkregen over de werking en de verschillende componenten van het voedselbos. Het projectgebied wordt doormiddel van literatuurstudie in kaart gebracht. In het voedselbos zijn deelgebieden onderscheiden. Per deelgebied worden de kenmerken beschreven ten aanzien van vegetatiestructuren, bodemopbouw, bodemleven, doorlatendheid en organisch stofgehalte. De kenmerkende beschrijvingen zijn gebaseerd op eigen gegevens uit het verrichte veldwerk, literatuurstudie en aangereikte gegevens van afstudeerrapporten. Om daadwerkelijk aan te kunnen geven of een voedselbos meer water kan bergen dan een bos of akker, is de naastgelegen akker ook in kaart gebracht en beschreven, zoals ook voor het voedselbos is gedaan. Op basis van deze gegevens is er met behulp van Excel een waterbalans opgesteld. Voor elk component in de waterbalans zijn zo nauwkeurig mogelijke gegevens en waarden gebruikt. De waterbalans is vervolgens geanalyseerd en vergeleken met de waterbalans van de akker.

Uit de analyse van de waterbalans is voortgekomen dat er tussen de waterbalans van de akker en het voedselbos een aantal opmerkelijke verschillen zitten. Hoewel de akker het hoogste organische stofgehalte in de bodem heeft zitten, vindt hier de laagste maximale berging plaats als gevolg van een kleinere worteldiepte. Dit komt door de vele vegetatielagen die in het voedselbos aanwezig zijn. De vele vegetatielagen zorgen namelijk voor een grotere verdamping en een grotere waterberging.

Inhoud

1	Inleiding.....	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Probleemstelling	1
1.3	Doel	1
1.4	Onderzoeksvragen	2
1.5	Leeswijzer.....	2
2	Methodiek.....	3
2.1	Stappenplan	3
2.2	Toegepaste methoden	4
2.2.1	Desktopstudie	4
2.2.2	Veldwerk	4
3	Voedselbossen en water	5
3.1	Definitie van een voedselbos	5
3.2	Ontstaansgeschiedenis	5
3.3	Kenmerken voedselbos.....	5
3.4	Verschillen in voedselbossen	7
3.5	Bodem- en watersysteem in bossen.....	8
3.5.1	Opbouw bos.....	8
3.5.2	Schaduw	8
3.5.3	Bodem	8
3.6	Componenten waterbalans	9
4	Voedselbos Ketelbroek	10
4.1	Algemeen	10
4.2	Deelgebieden voedselbos	12
4.2.1	Rationeel voedselbos	12
4.2.2	Open voedselbos.....	12
4.2.3	Gesloten voedselbos	13
4.2.4	Notenlaan.....	14
4.3	Deelgebieden natuurontwikkeling.....	15
4.3.1	Schraalgrasland	15
4.3.2	Struweel	16
4.3.3	Natuurlijke oever	16

4.4	Schooltuin	17
4.5	Water	18
4.5.1	Afwatering van watergangen.....	18
4.5.2	Waterkwaliteit	19
4.6	Bodem.....	21
4.6.1	Opbouw van de bodem.....	21
4.6.2	Humusprofiel	23
4.6.3	Organisch stofgehalte	25
4.6.4	Doorlatendheid	25
5	Akker	28
5.1	Landgebruik.....	28
5.2	Water	28
5.3	Bodem.....	28
5.3.1	Opbouw van de bodem.....	28
5.3.2	Humusprofiel	29
5.3.3	Organisch stofgehalte	29
5.3.4	Doorlatendheid	29
6	Waterbalans.....	30
6.1	Waterbalans Ketelbroek	30
6.2	Waterbalans Akker.....	32
6.3	Uitgangspunten.....	34
6.4	Componenten bij instroom.....	35
6.4.1	Neerslag	35
6.4.2	Capillaire opstijging.....	35
6.4.3	Kwel.....	36
6.5	Berging	36
6.5.1	Grondsoort.....	36
6.5.2	Organisch stofgehalte	36
6.5.3	Maximale bergingscapaciteit	37
6.6	Componenten bij uitstroom.....	38
6.6.1	Interceptie.....	38
6.6.2	Oppervlakkige afstroming.....	38
6.6.3	Verdamping.....	38

6.6.4	Wegzijing	41
7	Waterbalans vergelijking	42
7.1	Verdamping.....	42
7.2	Verhouding infiltratie en wegzijing	43
7.3	Verandering vochtgehalte	44
8	Conclusie	45
9	Aanbeveling.....	47
	Literatuur	49
	Bijlagen.....	52

Bijlagen

Bijlage I: Projectgebied

Bijlage II: Water en natuur in projectomgeving

Bijlage III: Indeling deelgebieden Ketelbroek

Bijlage IV: Leggerkaart

Bijlage V: Waterkwaliteitsonderzoek

Bijlage VI: Gegevens grondboringen

Bijlage VII: Uitwerking Organisch stofgehalte

Bijlage VIII: Methode ringinfiltrometer

Bijlage IX: Metingen infiltratieproef

Bijlage X: Waterbalans Ketelbroek

Bijlage XI: Waterbalans rationeel voedselbos

Bijlage XII: Waterbalans open voedselbos

Bijlage XIII: Waterbalans gesloten voedselbos

Bijlage XIV: Waterbalans Notenlaan

Bijlage XV: Waterbalans akker

Bijlage XVI: Vergelijking waterbalansen

Bijlage XVII: Verdamping per deelgebied

Bijlage XVIII: Verhouding infiltratie & wegzijing

Bijlage XIX: Verandering vochtgehalte

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De landbouwindustrie is aan vernieuwing toe, met oog op de toekomstige klimaatveranderingen zal er rekening gehouden moeten worden met hevige neerslag en anderzijds langere periode van droogte. Voedselbossen zijn hierin een opkomende trend. Voedselbossen zijn een duurzame en integrale manier van het produceren van voedsel, het leveren van een bijdrage aan de biodiversiteit en het voedselbos zorgt voor sociale cohesie onder belanghebbende. Waterschap Limburg, onder leiding van Marco de Redelijkheid, heeft studenten van Van Hall Larenstein gevraagd om onderzoek te doen naar de waterhuishouding in voedselbossen. Dit omdat er maar weinig kennis is over dit concept. Voedselbossen hebben wellicht een groter waterbergend vermogen dan gewone akkers en bossen. Om in te kunnen spelen op het toekomstige waterbergingsprobleem, is de missie van Waterschap Limburg om meer kennis te vergaren over het watersysteem in een voedselbos. Waterschap Limburg is al partner van het projectplan Voedselbossen Zuidoost Nederland. Het gezamenlijke doel van dit project is het beantwoorden van vragen over voedselbossen. Dit onderzoek zal een bijdrage leveren aan de kennis over de waterhuishouding in voedselbossen.

Het te onderzoeken gebied is het voedselbos Ketelbroek. naastgelegen akker wordt gebruikt als referentiegebied, om de verschillen in waterhuishouding duidelijk in beeld te krijgen. De ligging en afbakening van het projectgebied is weergegeven in Afbeelding 1.

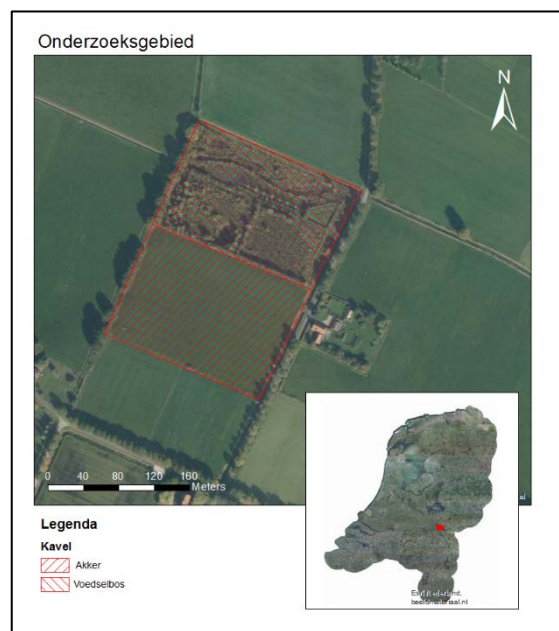
1.2 Probleemstelling

De toekomstige klimaatveranderingen brengen gevolgen met zich mee voor de aan- en afvoer van water in een bepaald watersysteem. Waterschap Limburg wil zich op deze toekomstige ontwikkelingen voorbereiden door te kijken naar nieuwe mogelijkheden op het gebied van waterberging. Het concept voedselbossen kan wellicht een oplossing zijn om meer waterbergende capaciteiten in een landschap te creëren.

In dit rapport staat de probleemstelling omtrent de werking van de waterhuishouding in een voedselbos centraal. Het is tot nu toe nog onbekend wat de verschillende componenten en hun onderlinge relaties zijn in de waterbalans van een voedselbos.

1.3 Doel

Het doel van het onderzoek is het achterhalen van informatie over hoe de waterhuishouding in een voedselbos functioneert. In dit rapport wordt één specifiek voedselbos onderzocht en geanalyseerd, gelegen in Ketelbroek. Het eindproduct van het onderzoek is een onderzoeksrapport waarin een uitwerking staat van het organisch stofgehalte, verdamping van vegetatie, infiltratiecapaciteit, neerslag en kwel die voorkomen in voedselbos Ketelbroek en het naastgelegen akker. Op basis hiervan wordt een waterbalans opgesteld van zowel het bos als de



Afbeelding 1 Ligging en projectgrens

naastgelegen akker. Door deze te vergelijken wordt er uitspraak gedaan over de verandering in waterhuishouding door het voedselbos.

1.4 Onderzoeksvragen

Voor het onderzoek zijn de volgende hoofd- en deelvragen opgesteld:

Hoofdvraag

Wat zijn kenmerkende componenten in de waterbalans van het voedselbos Ketelbroek?

Deelvragen

Om tot het antwoord van de hoofdvraag te komen zijn de volgende deelvragen opgesteld:

1. Wat zijn de kenmerken van een voedselbos en het watersysteem in een voedselbos?
2. Wat zijn specifieke kenmerken van het voedselbos in Ketelbroek?
3. Welke componenten en welke gegevens worden voor het voedselbos en het akker gebruikt in de waterbalans?
4. Welke veranderingen zijn er ontstaan in de waterhuishouding van voedselbos Ketelbroek ten opzichte van de naastgelegen akker?

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 1: De inleiding.

Hoofdstuk 2: De methodiek van het onderzoek wordt weergegeven. Hier wordt per stap beschreven hoe het onderzoek en de resultaten tot stand komen.

Hoofdstuk 3: Een algemene schets van het concept voedselbossen. Hierbij wordt ingegaan op de kenmerken van een voedselbos, verschillen in voedselbossen en het watersysteem van bossen. Daarnaast wordt er in dit hoofdstuk uitleg gegeven over verschillende componenten die thuis horen in een waterbalans.

Hoofdstuk 4: Het projectgebied wordt in kaart gebracht. Hierbij wordt algemene informatie gegeven over het voedselbos Ketelbroek. Daarnaast wordt er per aangegeven deelgebied in het voedselbos de verschillende vegetaties en structuren weergegeven. Ook worden specifieke gegevens als opbouw van de bodem, humusprofiel, het organisch stofgehalte en de doorlatendheid van de bodem beschreven.

Hoofdstuk 5: De specifieke kenmerken van de naastgelegen akker worden beschreven. In dit hoofdstuk wordt dezelfde methode gebruikt als voor het voedselbos, weergegeven in hoofdstuk 4.

Hoofdstuk 6: De waterbalansen van het voedselbos en de akker worden gepresenteerd. Daarbij wordt er in dit hoofdstuk de instromende en uitstromende componenten van de waterbalans weergegeven.

Hoofdstuk 7: Een vergelijking van de waterbalans van de akker met de waterbalans van het voedselbos. Hierbij wordt ingegaan op de verhouding van infiltratie en wegzijging, verandering in het vochtgehalte in de bodem en op de in- en uitstroom van de berging.

Hoofdstuk 8: De conclusie. Er wordt antwoordt gegeven op de hoofdvraag.

Hoofdstuk 9: In dit hoofdstuk worden de aanbevelingen weergegeven.

2 Methodiek

Om de waterbalans voor voedselbos Ketelbroek op te kunnen stellen is het nodig om verschillende methodieken te gebruiken. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe benodigde data verkregen wordt en hoe dit wordt verwerkt in het onderzoek. Ook de stappen die worden genomen gedurende het onderzoek staan beschreven.

2.1 Stappenplan

Het onderzoek is zo opgebouwd dat er wordt gekeken van groot naar klein. Eerst worden de algemene principes beschreven waarna er steeds specifieker en concreter het onderzoeksgebied en de waterbalans worden beschreven (zie Figuur 1). Op deze wijze zijn de eigenschappen van het voedselbos steeds duidelijker en specifiekier beschreven waarmee de invloeden van het voedselbos op de waterbalans gedefinieerd konden worden.

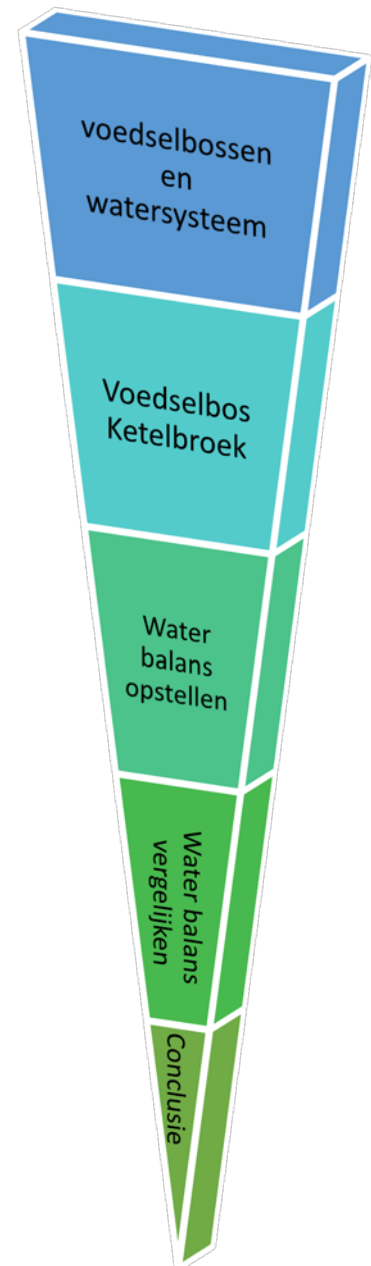
De eerste stap in het onderzoek was het vergaren van informatie over voedselbossen. De definitie van een voedselbos zoals deze wordt gehanteerd in dit onderzoek is beschreven en ook de algemeen geldende eigenschappen van een voedselbos in relatie met het watersysteem. In de eerste stap is ook beschreven wat de verschillende componenten in de waterbalans zijn.

In de tweede stap zijn de eigenschappen van het voedselbos Ketelbroek beschreven. De verschillende deelgebieden zijn gedefinieerd en de specifieke eigenschappen van de deelgebieden, die invloed hebben op de waterbalans, zijn beschreven. Bij het definiëren van de eigenschappen is gebruik gemaakt van veldwerk gegevens die voor het onderzoek zijn uitgevoerd.

De derde stap bestaat uit het opstellen van de waterbalans voor het voedselbos en de akker. De verschillende componenten uit de waterbalans zijn toegelicht. In de toelichting is ingegaan op welke waarden er zijn gebruikt en hoe deze waarden zijn bepaald.

Nadat de waterbalansen zijn opgesteld is de vierde stap begonnen, het vergelijken van de waterbalansen. Hierin wordt gekeken naar de verschillen die te zien zijn tussen de waterbalans van het voedselbos en de waterbalans van de akker.

Als laatste stap kan de conclusie worden geformuleerd die antwoord geeft op de hoofdvraag. Aan de hand van de vergelijking wordt bepaald wat de kenmerkende componenten zijn van het voedselbos.



Figuur 1 Onderzoekstrechter

2.2 Toegepaste methoden

Voor de verschillende stappen zijn meerdere onderzoeksmethoden toegepast. In deze paragraaf staan de verschillende toegepaste methoden beschreven.

2.2.1 Desktopstudie

Onder desktopstudie wordt het inwinnen van online informatie verstaan. In vrijwel elke stap is gebruik gemaakt van desktopstudie. Aan de hand van websites en artikelen is veel informatie over voedselbossen gevonden. Voor de uitwerking van de waterbalans zijn veel onderzoeksrapporten geraadpleegd.

2.2.2 Veldwerk

Tijdens veldwerk in het voedselbos Ketelbroek worden verschillende kenmerken van de deelgebieden onderzocht.

Er worden grondboringen gedaan waar grondmonsters van genomen worden. Per boring en per laag wordt in het laboratorium onderzocht wat het organisch stofgehalte is.

Voor de kenmerken over het infiltrerend vermogen van de bodem worden twee proeven uitgevoerd. De eerste proef is de ringinfiltratie meting en de tweede proef is het steken van ringen (zie Afbeelding 2).

Ten slotte wordt per deelgebied de vegetatiestructuur bepaald.



Afbeelding 2 Ringsteekset (Eijkelkamp)

3 Voedselbossen en water

Een voedselbos is relatief nieuw begrip met een betekenis die niet overal hetzelfde is. In dit hoofdstuk wordt het begrip voedselbos beschreven zoals in dit onderzoek wordt geïnterpreteerd. Deze beschrijving bestaat uit de ontstaansgeschiedenis, een opsomming van de belangrijkste kenmerken van voedselbossen en hun watersysteem en de verschillen van voedselbossen. Ten slotte volgt een beschrijving van de verschillende componenten in de waterbalans. Deze informatie vormt de basis voor het opstellen van de waterbalans voor voedselbos Ketelbroek en de akker.

3.1 Definitie van een voedselbos

Geciteerde definitie van 'Voedselbos' van de site Groenkennisnet:

“Een voedselbos is een door mensen gecreëerde plantengemeenschap (planten, bomen en struiken) met een extreem hoog aantal eetbare soorten. De biodiversiteit, (ecologische) veerkracht en productiviteit (van biomassa) van een voedselbos zijn hoog. Een voedselbos is volledig zelfvoorzienend en klimaatbestendig.” (Voedselbossen, sd)

3.2 Ontstaansgeschiedenis

De laatste decennia is de wereldbevolking enorm gestegen, de vraag naar voedsel is hierdoor ook omhooggegaan. Door de toenemende landbouwproductie is er een spanning ontstaan tussen natuur, bodem, gezondheid, flora en fauna. Deze spanningen zijn niet goed voor het milieu en problemen als bodemerosie en verwoestijning zorgen voor een verslechterde bodemkwaliteit.

Permacultuur is in de jaren '70 van de vorige eeuw ontstaan als oplossing voor de negatieve activiteiten op de landbouwgrond. Een voedselbos is een voorbeeld van permacultuur.

Een permacultuur heeft verschillende doelen:

- Produceren van voedsel op een duurzame manier.
- Ontstaan van een robuuste waterhuishouding.
- Productie van brandstoffen.
- Herstellen van beschadigde landschappen door de mens ontwikkelde monocultuur.
- Het creëren van een veerkrachtige omgeving waar een balans is van de in- en output binnen een gemeenschap (Permacultuur, 2018).

3.3 Kenmerken voedselbos

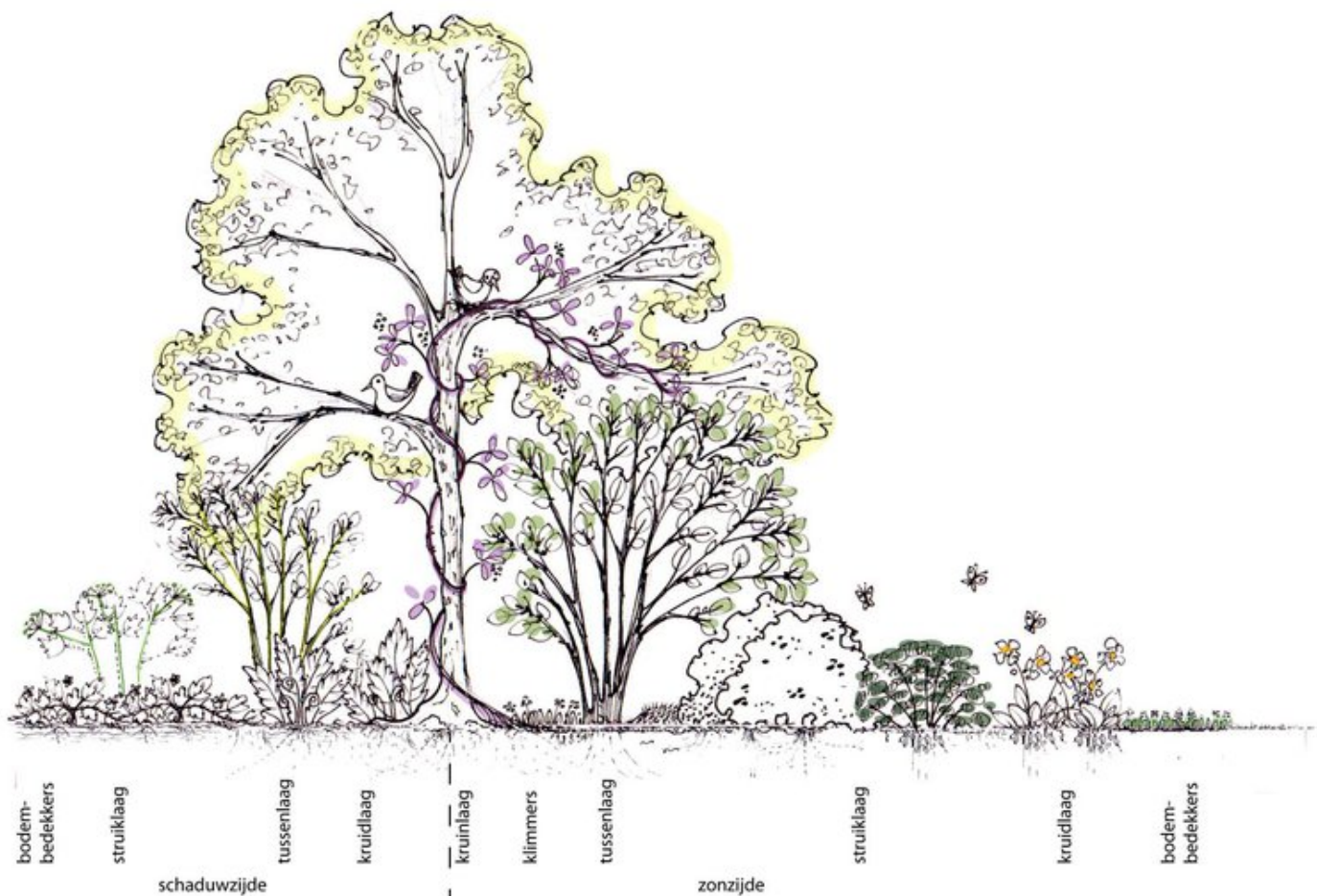
Een voedselbos is een alternatief voor een akker of landbouwgrond. Echter is een voedselbos, in tegenstelling tot een monotone akker, zodanig ingericht dat er veel verschillende soorten planten in een ecosysteem leven. Bij het ontwerp van een voedselbos wordt daarom per plant nauwkeurig gekeken naar de voorkeurspositie, zo worden schaduwliefhouders bij hoge bomen geplaatst en zonliefhouders in open gebied.

Na de eerste ontwikkelingsjaren van het bos zal het voedselbos uiteindelijk zelfdragend, zelfonderhoudend, zelf balancerend en zelf voedend zijn. De inrichting in een voedselbos is hiervoor van groot belang. Het ontwerp van een voedselbos is geïnspireerd op de opbouw van een natuurlijk bos. De verschillende lagen die in een voedselbos voorkomen zorgen voor een gevarieerd ecosysteem. Iedere laag zorgt op zijn eigen manier voor bescherming, voedingsstoffen en een habitat voor een andere laag. Het af- en aanleveren van voedingsstoffen tussen de gewassen maakt een voedselbos een slim en duurzaam systeem.

De verschillende lagen die in het voedselbos voorkomen:

- Kruinlaag: de kruinlaag bestaat uit bomen die groter kunnen worden dan 8 meter. Dit zijn bijvoorbeeld de walnoot, linde en de kers.
- Tussenlaag: de tussenlaag bestaat uit bomen die tussen de 3 en de 8 meter hoog worden. Dit zijn bijvoorbeeld de mispel, hazelaar en de cornus.
- Struiklaag: de struiklaag bestaat voornamelijk uit kleine heesters die tussen de 1 en 3 meter hoog worden. Dit zijn bijvoorbeeld de jostabes, de honingbes, de aalbes en de wijnbes.
- Kruidlaag: de kruidlaag bestaat uit struiken die tussen de 0,20 en 1 meter hoog worden. Dit zijn bijvoorbeeld de Smeerwortel, de Brandnetel en Varen.
- Bodembedekkers: de bodembedekkers worden maximaal 20 cm hoog. Dit zijn bijvoorbeeld de aardbei, postelein, cranberry en de bosbes.
- Klimplanten: de klimplanten groeien in de hogere bomen. Dit zijn bijvoorbeeld de kiwibes, druiven en de akebia.
- Wortels en knollen: Dit is bijvoorbeeld de aardpeer en wortels (Voedselbos Kwekerij Arborealis, 2018).

In Afbeelding 3 is een schematische weergave van de opbouw van een voedselbos.



Afbeelding 3 Schematische weergave opbouw voedselbos (Voedselbos Kwekerij Arborealis, 2018)

Het voedselbos produceert niet alleen voedsel voor consumptie maar biedt ook onderdak voor ontelbare soorten organisme, groot en klein. Deze organisme zijn van groot belang, het bos kan namelijk niet bestaan zonder bestuivende insecten en plaag bestrijdende vogels (Voedselbos Kwekerij Arborealis, 2018).

Een juist ontworpen voedselbos houdt zichzelf in stand, het beheer aan een voedselbos is hierdoor nihil. Er wordt niet gemaaid en geploegd, ook worden er zeker geen bladeren weggehaald. Dit kan voor een verstoring van de ecologische kringloop zorgen. In de beginjaren van een voedselbos kan een plaag nog weleens voor grote verstoringen in het bos zorgen. Wanneer er een plaag optreedt wordt deze niet bestrijdt met pesticiden of andere chemicaliën maar zal het voedselbos dit op eigenkracht moeten kunnen overleven.

Ook bemesting en irrigatie worden niet toepast in het voedselbos, zo zorgen bladeren en ander organisch materiaal, die niet voor voedselproductie worden gebruikt, voor een natuurlijke voeding laag op de bodem (Natuur & economie: Voedselbossen, 2018).

De water toe- en afvoer in een voedselbos is vele malen stabielere als die van een akker. Door de aanwezigheid van veel bomen, struiken en planten wordt een deel van het regenwater opgevangen door de bladeren voordat het de mogelijkheid krijgt om te infiltreren. Hierdoor is de hoeveelheid regenwater bij een piekbui niet zo extreem als op een open akker. Door de aanwezigheid van organisch materiaal in de bodem, een gevarieerd bodemleven en veel doorworteling zijn de infiltratiemogelijkheden in een voedselbos vele malen beter. Deze factoren zorgen er ook voor dat het regenwater langere tijd vastgehouden wordt in de bodem. In drogere periode is de watervoorraad in het voedselbos nog voldoende.

3.4 Verschillen in voedselbossen

Het concept voedselbossen is een opkomende trend. De afgelopen jaren zijn er in Nederland veel eetbare siertuinen en voedselbossen aangeplant. In Nederland is ondertussen 100 hectare voedselbos te vinden. Op Afbeelding 4 zijn alle voedselbossen in Nederland weergegeven. Er zijn veel verschillende visies over permacultuur en voedselbossen, omdat er geen vaste regels zijn over wat precies een voedselbos is.

Zo worden eigen voedselbossen bij mensen in de achtertuin gecreëerd. Op eigen initiatief worden eetbare- en nutsplanten in de tuin aangeplant. De nutsplanten zorgen voor bemesting, bijen, bescherming ect. Wat er uiteindelijk voor zorgt dat de achtertuin onderhoudsvrij is. Na enkele jaren zullen de eerste opbrengsten al geconsumeerd kunnen worden, de eetbare achtertuin is hierdoor in feite permacultuur (Mergenmetz, 2013).

Ook zijn er al ideeën ontstaan om op een voorzichtige manier van een monocultuur een permacultuur te creëren.

‘Restoration agriculture’ is een boek, geschreven door Mark Shepard, waarin verteld wordt hoe je



Afbeelding 4 Voedselbossenkaart van Nederland en België (Achter de samenleving, 2016)

opeenvolgende fasen via strokenverkaveling kunt toewerken naar een systeem met bosweides of een andere vorm van agroforestry. Dit kan bijvoorbeeld door vee op een geplande rotatie tussen een aantal soorten fruit en noten te laten grazen (Voedselbos, 2018).

3.5 Bodem- en watersysteem in bossen

Elk bos heeft zijn eigen specifieke kenmerken die invloed hebben op de waterbalans voor dat bos. Maar in grote lijnen kennen bossen dezelfde principes ten aanzien van het watersysteem. In deze paragraaf worden het algemeen geldende watersysteem in een bos beschreven.

Kenmerkende invloeden die bossen hebben op het watersysteem zijn met name de opbouw van het bos, schaduw en de bodem.

3.5.1 Opbouw bos

Een bos kent over het algemeen verschillende vegetatielagen. Het kronendek vormt de bovenste laag. De eerste regendruppels die vallen worden voornamelijk door deze laag opgevangen. Wanneer het om een kleine bui gaat blijft de regen die op de bladeren valt liggen en kan het water worden opgenomen door de bladeren of kan het verdampen. Wanneer de bui langer aanhoudt en de bladeren niet meer al het water kunnen vasthouden loopt het water van de bladeren af. Het valt dan naar beneden of loopt via takken en de stam naar de grond toe. Wanneer het water van de bladeren af valt kan het in de volgende vegetatielaag terecht komen. In deze laag herhaalt hetzelfde proces zich maar zal het water minder snel verdampen omdat er minder invloed is van de zon. Hoe meer lagen er in de vegetatie van het bos aanwezig hoe vaker dit proces wordt herhaald. De planten zelf bestaan voor een groot deel ook uit water. Hoe meer vegetatielagen houdt dus ook in dat de totale hoeveelheid water in de planten ook groter is.

3.5.2 Schaduw

Schaduw heeft naast het effect dat er minder verdamping plaats vindt ook het effect dat het kan zorgen voor condensatie (zie Afbeelding 5). Op de plekken waar de zon nauwelijks invloed heeft kan de temperatuur zo laag blijven dat het water in de lucht condenseert. De hoeveelheid water die hierdoor extra aan het watersysteem wordt toegevoegd is vele malen kleiner dan neerslag maar is wel kenmerkend voor een bos.



Afbeelding 5 Condensatie langs boomstam door omliggende begroeiing

3.5.3 Bodem

Elk bos heeft zijn eigen bodemsoort die verschillende effecten hebben op het watersysteem. Over de bodem zelf is geen algemeen invloed op het watersysteem te definiëren. Maar in elk bos staan de wortels van de bomen in de bodem en is er bodemleven in de grond. Door de doorworteling van de bodem wordt de grond losser en is het voor water makkelijker om te infiltreren. Ook water wat langs de stammen af de grond bereikt kan makkelijker infiltreren. Het bodemleven zorgt voor omwoeling, gaten, gangen en organisch stof in de bodem. Al deze kenmerken dragen bij aan een goed vocht vasthoudend vermogen en goed infiltratie.

3.6 Componenten waterbalans

Het maken van een waterbalans geeft een overzicht van alle verschillende watercomponenten in een bepaald gebied (Wikipedia, 2014). Door een vergelijking te maken tussen de hoeveelheid water die een gebied in- en uitstroomt, kan worden vastgesteld welke rol water speelt in een gebied. Met deze gegevens kunnen beleidsmaatregelen worden opgesteld en kan worden ingespeeld op toekomstige ontwikkelingen op het gebied van waterbeheer.

Om een waterbalans te maken is het van belang om over alle gegevens van de mogelijke componenten te beschikken. Er zijn zowel voor instroom als uitstroom en berging verschillende componenten nodig om een waterbalans op te stellen. Deze componenten staan hieronder weergegeven.

Componenten bij instroom:

- Neerslag
- Instroom via grondwater
- Kwelstromen
- Capillaire opstijging

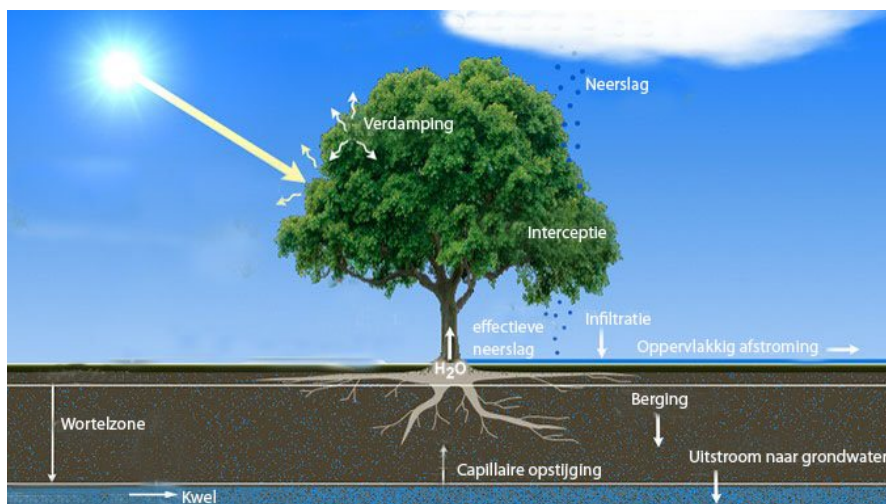
Componenten bij berging:

- Berging in bodem

Componenten bij uitstroom:

- Interceptie
- Wateropname van wortels wat uiteindelijk leidt tot verdamping van gewassen
- Verdamping van vocht uit de bodem
- Verdamping van openwater
- Uitstroom via grondwater
- Oppervlakkige afstroming

Op Afbeelding 6 is een voorbeeld van een waterkringloop weergegeven waarop alle componenten, vergelijkbaar met een voedselbos, zijn afgebeeld.



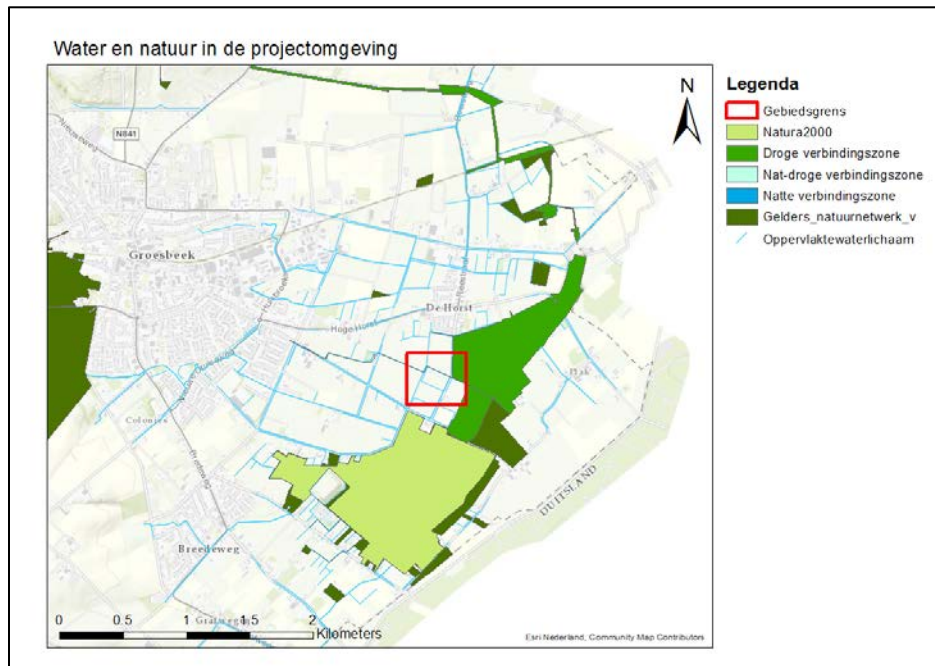
Afbeelding 6 Schematische weergave waterkringloop (Dickinson, 1984)

4 Voedselbos Ketelbroek

In dit hoofdstuk wordt er ingegaan op de kenmerken van voedselbos Ketelbroek. Tijdens verschillende bezoeken aan het bos is de eigenaar Wouter van Eck geïnterviewd over de aanleg, inrichting, vegetatie en water. De tekst uit dit hoofdstuk is volledig gebaseerd op deze gesprekken en eigen waarnemingen, tenzij anders vermeld. Eerst volgt er een algemene beschrijving van het ontstaan en ontwerp van het voedselbos. Vervolgens wordt er dieper ingegaan op de kenmerken en structuren per deelgebied.

4.1 Algemeen

De naam Ketelbroek verradt de lage ligging van het perceel van het voedselbos. Door de ijstong in de een na laatste ijstijd is het gebied omgeven door drie opgestuwde gebieden: het Reichswald in het oosten, aan de zuidkant de Sint-Jansberg en de Mokerhei en in het noordwesten de Wolfsberg, Stekkenberg en de Duivelsberg in de buurt van Nijmegen. Door het reliëf is in Ketelbroek daarom jaarrond nat door de kwel. Verder liggen er een aantal natuurgebieden rondom, zoals natuurgebied 'De Bruuk' en naar het oosten het Kranenburgerbroek. Hier is beide blauwgrasland aanwezig.



Kaart 1 Water en natuur in de projectomgeving

Bij de koop van de landbouwkavel was al besloten dat een deel van de 2,42 hectare ingericht zou worden om bij te dragen aan natuur in het landschap. Door een deel in te richten als blauwgrasland en moerasbos dient het voedselbos als een kleine stapsteen dat bijdraagt aan de verbinding tussen de natuurgebieden (zie Kaart 1 en bijlage II).

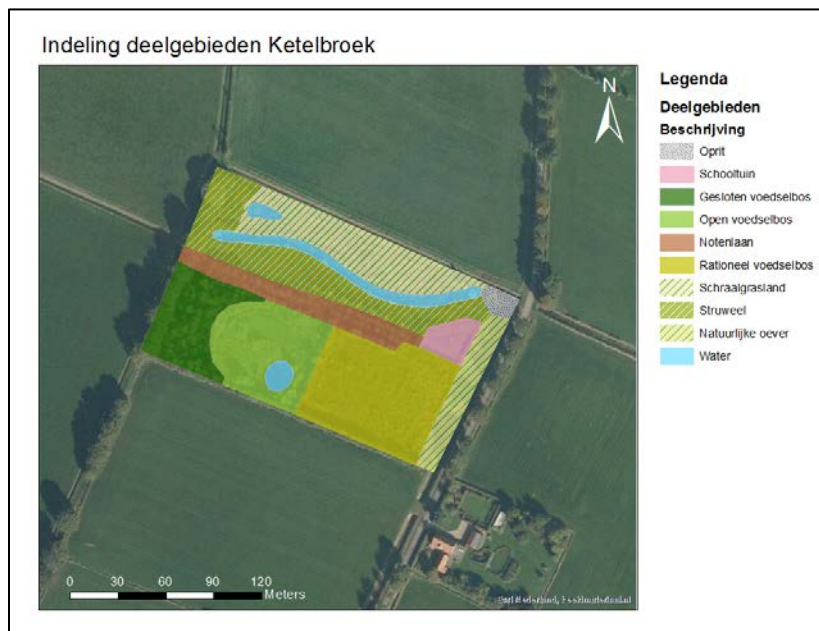
Tegelijkertijd was het Waterschap Rivierenland bezig met het opstellen van een waterplan, omdat de smalle landbouwbeken in het gebied de piekafvoeren niet aankonden. Voor meer regenbestendigheid waren er retentiebekken nodig en meer natuurvriendelijke oevers. In samenwerking met het waterschap krijgt daarom de zogenoemde Middenbeek, die langs het voedselbos stroomt, een nieuw, meanderend tracé over de kavel van het voedselbos. De bedding wordt uitgebreid van een halve meter naar vijf meter, met natuurlijke oevers die een flauw talud hebben van 1:22. Daarnaast wordt er een

poeltje gegraven. In het volgende deelhoofdstuk wordt hier verder op ingegaan. In verband met beheer blijft de oude watergang de hoofdwatgang, ondanks dat 90% van het water door het natuurlijke tracé stroomt. Aan de oostkant van de kavel is er ook meer ruimte gemaakt voor water. Hier heeft de landbouwsloot aan de kant van het voedselbos een natuurlijke oever gekregen.

De inrichting van de kavel is voor het grootste deel door de eigenaar zelf, Wouter van Eck, bedacht. Bij het ontwerpen van het voedselbos, was er het plan om naast de eerdergenoemde natuurontwikkelingszones verschillende ‘kamers’ te maken. Bij de inrichting van de verschillende kamers wordt rekening gehouden met de positie ten opzichte van de zon, de grondwaterstand en andere factoren zoals de plaats in de successie.

Ondanks dat het voedselbos zeer jong is, zijn er al meer dan honderd verschillende soorten die geoogst kunnen worden. Per jaar neemt de hoeveelheid oogst nog altijd toe. Op dit moment wordt er aan een restaurant en brouwerij in de omgeving geleverd. In totaal telt het voedselbos ongeveer 450 soorten.

De kavel van Ketelbroek is verdeeld in het voedselbos zelf en een zone voor natuurontwikkeling. Het voedselbos is globaal in te delen in vier deelgebieden: rationeel voedselbos, open voedselbos, gesloten voedselbos en de notenlaan. Alle deelgebieden van de kavel zijn op Kaart 2 Indeling deelgebieden Ketelbroek te zien. De gearceerde gebieden zijn de natuurontwikkelingszones en zijn niet bestemd voor de voedselproductie. Deze zones ondersteunen de ontwikkeling van het ecosysteem en de waterhuishouding in het voedselbos, maar zullen niet worden meegenomen bij het onderzoeken van de waterbalans. Kaart 2 staat in bijlage III vergroot weergegeven.



Kaart 2 Indeling deelgebieden Ketelbroek

Tabel 1 Oppervlaktes deelgebieden

Deelgebied	Opp. (m ²)
Struweel	3694
Natuurlijke oever	1524
Schooltuin	715
Rationeel voedselbos	5333
Gesloten voedselbos	2255
Open voedselbos	3761
Oprit	322
Schraalgrasland	3579
Notenlaan	1944
Water	1615
Totaal	24742

Op basis van bovenstaande kaart zijn de oppervlaktes berekend van de verschillende deelgebieden (zie Tabel 1). Deze oppervlaktes zijn een benadering en wijken door onzekerheden de tekening iets af van de werkelijke grootte van de kavel.

4.2 Deelgebieden voedselbos

In deze paragraaf worden de verschillende deelgebieden in het voedselbos toegelicht.

4.2.1 Rationeel voedselbos

Het rationele voedselbos is samen met de schooltuin in 2012 opgehoogd met de grond die vrijkwam bij de afgraving van de natuurzones. Langs het pad aan de zuidkant is vooral zand en grind neergelegd. Hier groeit veel kruidenrijke vegetatie. Op de rest van het deelgebied is met name löss en leem opgebracht.

In dit deel zijn de bomen en planten heel bewust en georganiseerd aangeplant. Na de aanplant kwam er al snel veel akkerdistel en ridderzuring op. Soorten die door veel mensen als onkruid en ongewenst worden gezien, zijn in het voedselbos juist van groot nut. De ridderzuring als penwortelaar kan diep wortelen in de verdichte landbouwgrond en zorgt er niet alleen voor dat lucht en water weer kunnen circuleren, maar haalt ook voedingsstoffen naar boven uit de diepere ondergrond. Deze soorten concurreren niet met oppervlakkig wortelende bomen die er groeien, zoals de Japanse peer, abrikoos, appel en kers. Op het tijdstip van bezoek heerst de brandnetel tot één en anderhalf meter tussen de fruitbomen en zijn de bomen niet te bereiken zonder de vegetatie aan te tasten. De brandnetels zijn waadplanten voor verschillende insecten, die ervan leven en eten. Daarnaast bieden de planten onderdak voor zeldzame vogels, zoals de bosrietzanger en de geelgors, die graag in het hoge gewas nestelen.

Eind augustus, wanneer de vruchten aan de bomen rijp worden, zakt het onkruid vanzelf naar beneden en wordt het organische materiaal op de bodem gelegd. Dit is het zogenaamde 'automulding'. De dichte vegetatie verandert in een open gebied, waardoor de vruchten bereikbaar worden om te plukken.



Afbeelding 7, Rationeel voedselbos

4.2.2 Open voedselbos

Het open voedselbos is een cirkelvormig gebied waar de kantine zich bevindt. Dit gedeelte vormt samen met het donkere voedselbos en de notenlaan het oudste deel, dat in 2009 aangeplant is.

In het midden is er een open gebied gecreëerd, voor soorten die van royale inschijn houden. Langs het pad is een zoom van planten die ongeveer even hoog worden, met daarachter soorten die hoger worden. Hiermee wordt een natuurlijke bosrand nagebootst. Hier groeien onder andere aan de noordkant de amandel, abrikoos, vijg en citroen die goed groeien met de bezonning uit het zuiden en de wind die weggevangen wordt van de hogere bomen. Hierdoor wordt er een apart microklimaat verkregen. Hier groeit ook de mispel, die enkel in de namiddag beschaduw wordt door de elzen. Dit gebied wordt open gehouden, waardoor er op de grens tussen het open gebied en het achtergelegen bos geschikte groeiplekken ontstaan voor bijvoorbeeld rabarber en de robinia.



Afbeelding 8, Natuurlijke bosrand

Langs het pad aan de zuidkant zijn verschillende planten te vinden die goed groeien aan de zonnige flank van het voedselbos. Inheemse soorten als de ciderappel, rozenbottel en de Nederlandse vlier. Daarnaast groeien er veel onbekendere soorten zoals de rimpelroos uit Mongolië, de vruchtmeidoorn uit Tzatzikistan en de Amerikaanse vlier. Door de verscheidenheid aan bloeivormen op verschillende tijden, vormt de vegetatie een ideale leefomgeving voor insecten. Verder komen er soorten voor die in de halfschaduw groeien, zoals pepers en de arioniabes.

Ongeveer in het midden van het lichtrijke voedselbos bevindt zich een poeltje. De waterstand lijkt er laag, maar lijnen op het talud verraden hoe sterk het water kan fluctueren in verschillende seizoenen. Uit ervaring van Wouter blijkt dat de waterstand een speling heeft van maximaal 1 tot 1,5 meter. Deze poelen zijn natuurlijker, omdat deze niet afvloeien zoals de beken. Drogere perioden laten de waterstand weer langzaam dalen, maar droog wordt het nooit, omdat kwel aan de basis ligt van de watertoevoer. Het waterpeil kan daardoor in de winter stijgen, terwijl het niet regent.



Afbeelding 9, Open voedselbos

De zuidwand heeft een steile rand en de noordkant een flauw talud. Dit komt ten goede aan de amfibieën. Het vrijgekomen löss en leem is aan de noordkant van de cirkel neergelegd. Het zand en grind is neergelegd bij het klaverveldje bij de picknickbank in het zuidwesten. Hier ontstaat een plek met goede drainage.

4.2.3 Gesloten voedselbos

Het open voedselbos loopt over in het gesloten voedselbos, waar het aan de westzijde afgesloten wordt door een bestaande, gemeentelijke bomenrij van Eiken en Ratelpopulieren.

Het meest oostelijke deel wordt het diepe, donkere woud genoemd. In dit deel staan allemaal kruinbomen, zoals de elsbes, linde, tamme Kastanje, Koreaanse pijnboom, die in de toekomst rond de 20 meter hoog worden. Deze bomen vormen de bovenetage. De secundaire bomen, de struiken en de kruidachtige zijn in dit deel allemaal schaduwplanten.



Afbeelding 10, Gesloten voedselbos

Doordat de hoge kruinbomen er lang over doen om grote hoogte te bereiken, staan er op dit moment nog pionierssoorten als berken en populieren die in enkele jaren hoog worden. Deze bomen zorgen ervoor dat de soorten van de bosrand, die van halfschaduw houden, zich kunnen ontwikkelen totdat de kruinbomen genoeg schaduw geven. Ook dienen deze bomen als windschut en bevorderen ze de ontwikkeling van het bodemleven in de eerste jaren. Om de successie te versterken, kunnen deze pionierssoorten vervroegd worden gekapt of afgebonden om te dienen als biomassa.



Afbeelding 11, Condensatie op boom

In het gesloten voedselbos is het opmerkelijk koeler. Bij een hoge luchtvochtigheid is dat te zien doordat water condenseert en zich verzamelt op het onderste deel van de stam. Dit wijst erop dat de bomen niet alleen water verdampen, maar ook 'vangen' doordat het condenseert.

4.2.4 Notenlaan

De notenlaan is een lange strook tussen de natuurzone en het voedselbos. Hier staan verschillende notenbomen die in 2010 zijn aangeplant. Hier groeit de walnoot en de Japanse walnoot, afgewisseld door andere boomsoorten als de zwarte Els en de robinia (Baas, 2018).



Afbeelding 12, Notenlaan

4.3 Deelgebieden natuurontwikkeling

Het voedselbos Ketelbroek kent een gedeelte natuurontwikkeling. Binnen dit gebied, waar natuurontwikkeling centraal staat, zijn verschillende deelgebieden te onderscheiden.

4.3.1 Schraalgrasland

In het afgegraven deel is er veel ruimte voor amfibieën kikkers en padden, die beide de insectenpopulatie in stand houden. Door de gradiënt van droog en nat is het zowel voor kikkers als voor padden mogelijk om hier te overleven in de winter.



Afbeelding 13, Schraalgrasland

De officiële watergang ligt langs de akker, die nog twee keer in het jaar gemaaid wordt. In de watergang komt veel riet voor, die goed groeien door de toevoer van voedselrijk landbouwwater. De watergang wordt slechts één keer in de vijf jaar onderhouden door stroken riet handmatig te verwijderen om verlanding te voorkomen. Daarnaast worden wilgen afgeknipt om successie en verlanding te voorkomen en de schrale natuur te behouden. Verder moet de rand aan de noordzijde van dit gebied open blijven om de maaistrook begaanbaar te houden voor het waterschap. Deze maaistrook vormt tevens ook een wandelpad.



Afbeelding 14, Watergang

Er komen, naast wilgen en riet, verschillende plantensoorten voor die op het naastgelegen natuurgebied de Bruuk lijken: natte natuur met veel kruiden zoals orchideeën en gentiaantjes, die samen met de ratelaar voorkomen.

Voor stevigheid tijdens het maaien ligt er beton in de watergang, op de plek waar het water uit de geul terugstroomt in de beek.

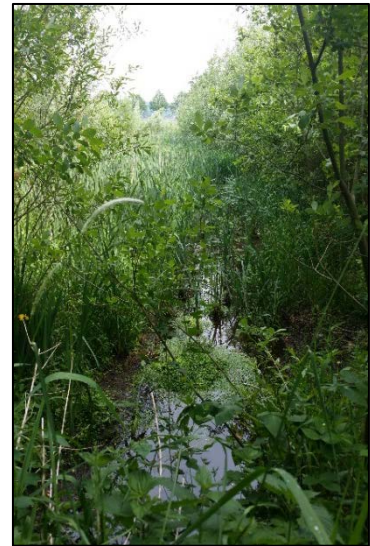
Naast de watergang is er ook een kleine poel gegraven. Hier groeit onder andere de lisdodde, die door de schrale ondergrond en de aanvoer van kwel niet zo hoog wordt. Over de jaren heen wordt de vegetatie steeds hoger, wat erop wijst dat de poel langzaam voedselrijker wordt.

4.3.2 Struweel

Aan de andere zijde van de watergang groeit veel struweel. In tegenstelling tot het schraalgrasland is het beheer hier minimaal en kunnen wilgenbomen vrij groeien. Door de hogere vegetatie aan de zuidkant wordt de beek beschaduwd. Dit voorkomt snelle dichtgroei van de watergang en draagt bij aan een goede waterkwaliteit.



Afbeelding 16, Struweel



Afbeelding 15, Struweel

4.3.3 Natuurlijke oever

De natuurlijke oever is gelegen aan de oostkant van de kavel. Na hevige regenval kan het slootpeil ongeveer 1,5 meter stijgen, waardoor een goede afvoercapaciteit noodzakelijk is. De natuurlijke oever werkt als een retentiebekken en verhoogt deze capaciteit van de vroegere landbouwsloot.

Door de verscheidenheid aan grondsoorten (bovenste laag löss, daarna een laagje leem en ten slotte zand en grind), zijn er veel verschillende plantensoorten aanwezig. Hier komen ook bijzondere soorten zoals de zeldzame bleeskleurige orchis. Een haag van rimpelroosstruiken vormt de grens tussen de oeverzone en het achtergelegen rationele voedselbos.

Direct aan de waterkant groeien voedselrijke soorten als de brandnetel, die goed gedijen aan het voedselrijke landbouwwater. In het water is veel ijzer aanwezig, dat niet alleen te zien is door de vlokken ijzerfosfaat, maar ook te proeven is.



Afbeelding 17, Natuurlijke oever

4.4 Schooltuin

In het voedselbos bevindt zich ook een stuk waar de grond wél intensief bewerkt wordt. Er wordt hier jaarrond gewerkt om de eenjarige gewassen te onderhouden en te oosten. In dit hoger gelegen gedeelte wordt in het najaar zelfs geploegd en in het voorjaar geëgd. Hier groeien tuinbonen, radijsjes en later in het seizoen ook tuinbonen en pompoenen. Een andere tegenstelling met de rest van het perceel, is dat hier enkel eenjarige soorten groeien in plaats van meerjarige soorten in de rest van het voedselbos.

Deze akker wordt onderhouden door de kinderen van de nabijgelegen basisschool, die niet alleen leren over de verschillende gewassen, maar ook over dieren en de natuur. Dit stuk grond heeft weinig met de rest van het voedselbos te maken, maar is goed voor educatieve doeleinden en creëert door betrokkenheid ook draagvlak.

Dat deze 'akker' grote verschillen heeft met het omheen gelegen voedselbos en natuur, blijkt ook uit de infiltratiecapaciteit van de bodem. Empirische bronnen wijzen erop dat na hevige regenval er veel plassen op de akker staan, terwijl in het bos eromheen geen plasvorming te zien was.



Afbeelding 18, Schooltuin

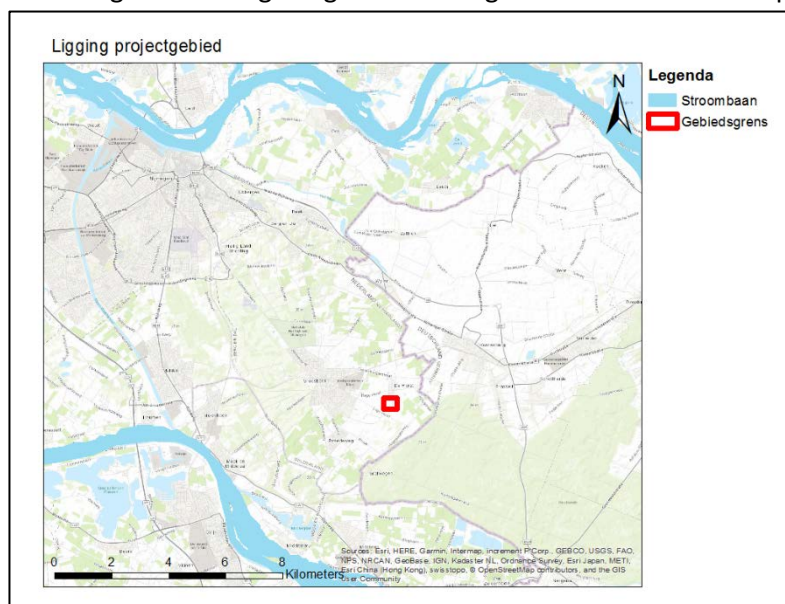
4.5 Water

In deze paragraaf wordt de afwatering van het gebied en de waterkwaliteit beschreven.

4.5.1 Afwatering van watergangen

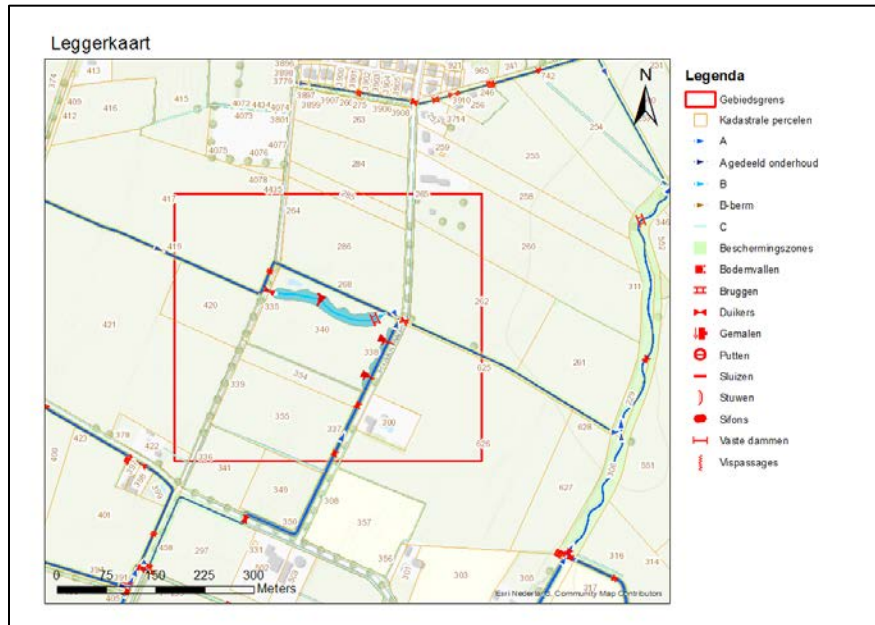
Ketelbroek is een laaggelegen gedeelte, gelegen tussen drie opgestuwde gebieden. Aan de oostkant van het Voedselbos ligt het Duitse Reichswald, aan de zuidzijde de Sint-Jansberg en de Mokerhei en aan de noordkant de Duivelsberg en de Ooi polder. De ligging van het voedselbos tussen de drie stuwwallen zorgt ervoor dat het gehele jaar er kwelstromen plaatsvinden.

Als er op een hoger niveau wordt gekeken is te zien dat, Ketelbroek omringd is door de grote rivieren (zie Kaart 3, Ligging projectgebied). Aan de noordkant bij Nijmegen bevindt zich de Waal en aan de oost-westzijde ligt de Maas en het Waalkanaal. De rivieren hebben er vroeger voor gezorgd dat er zand en grind is afgezet in de bodem bij het voedselbos. Dit zorgt ervoor dat de infiltratie goed is en deze afzettingen hebben gezorgd voor de vegetatiestructuur die er op dit moment aanwezig is.



Kaart 3, Ligging projectgebied

Als er naar het voedselbos en de directe omgeving wordt gekeken is te zien dat het voedselbos Ketelbroek aan de rechterkant en aan de onderkant omsloten wordt door een A-watergang. De A-watergang is van primair belang voor het waterbeheer. Deze watergang wordt door het waterschap onderhouden. Op deze watergang watert ook de B-watergang, die aan de rechterzijde van het voedselbos loopt, af. Deze watergang dient door aangrenzende eigenaren te worden onderhouden. In dit geval is dat de taak van het voedselbos. De afwateringssloten van de akkers/weilanden links van het voedselbos, zijn C-watergangen. Deze watergangen zijn van tertiair belang voor het waterbeheer en hier geldt geen jaarlijkse onderhoudsplicht (Rivierenland, 2017). Al deze watergangen wateren af op De Leigraaf. De Leigraaf stroomt Richting de Groesbeek en deze meandert onder vrij verval af naar Duitsland. De Leigraaf is de enige beek in Nederland die van West naar Oost stroomt. Dit is ook te zien op Kaart 4, Leggerkaart Waterschap Rivierenland. De kaart is in bijlage IV vergroot weergegeven.



Kaart 4, Leggerkaart Waterschap Rivierenland (Rivierenland, 2017)

4.5.2 Waterkwaliteit

Voor de poel gelegen in het open voedselbos (paragraaf 4.2.2) is er een waterkwaliteitsonderzoek uitgevoerd, zodat de herkomst van het water in de poel herleidt kan worden. De herkomst van het oppervlaktewater is gemeten met Van Wirdum driehoek methode. Deze methode kan aantonen of het oppervlaktewater atmosferisch (regenwater), thallosferisch (zee-achtig water) of lithosferisch (grondwater) is. In bijlage V is de methode van dit onderzoek uitgebreid uitgelegd met daarbij de berekeningen van het onderzoek te. In Tabel 2 , zijn de uitkomsten van het onderzoek te zien.

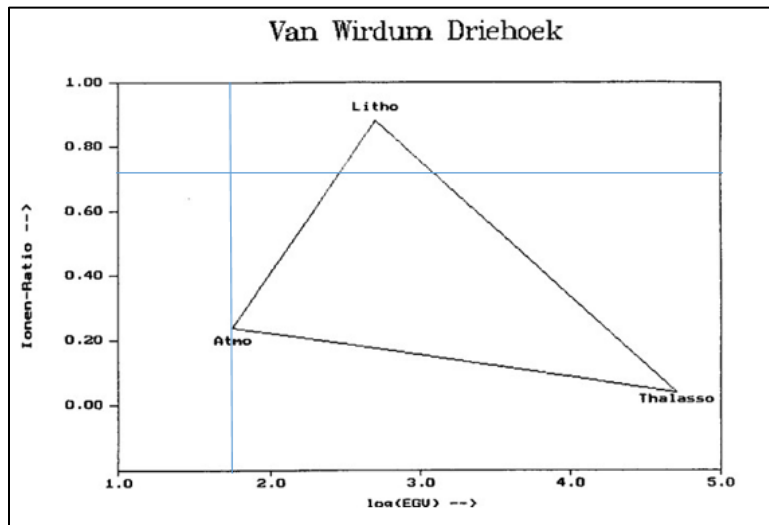
Tabel 2 Uitkomsten Van Wirdum-methode

Poel	Calcium mg/l	Chloride mg/l	EGV $\mu\text{S}/\text{cm}$	mmol Ca^{2+}/l	mmol Cl^{-}/l	log (EGV)	IR	Uitkomst
1	14	10	51	0,349	0,282	1,708	0,713	Grondwater

Uit resultaten van het waterkwaliteitsonderzoek is gebleken dat de poelen in het voedselbos voornamelijk worden gevoed door kwelwater. Dit is te zien in Afbeelding 21 Van Wirdum Driehoek. De uitkomstwaarde ligt buiten de driehoek, maar het meest in de richting van lithosferisch water. Een verklaring hiervoor, zoals al is aangegeven in paragraaf 4.2.2 (Open voedselbos), is dat kwel aan de basis ligt van de watertoevoer in de poel.

Als er wordt gekeken naar de monsters valt op dat het monster een lage EGV-waarde heeft. Een lage EGV-waarde zou betekenen dat de poel gevoed wordt door regenwater. De referentiewaarde voor regenwater ligt bij 20-100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (P.F.M. Verdonschot, 2008). De lage EGV-waarde komt hoogstwaarschijnlijk doordat er is gemeten na een regenachtige dag met hevige buien waarbij er in korte tijd 15 mm neerslag gevallen is. In de van Wirdum driehoek is deze uitkomst ook te herleiden. Het snijpunt ligt dichtbij het lithosferische water (grondwater), maar op de as van het atmosferische water (regenwater). Daarnaast passen de chloride- en calciumwaarden niet bij het beeld van regenwater. Deze waarden zijn daarvoor te hoog. Een verklaring voor de hogere chloridewaarde kan de oorzaak zijn van

de waterlozingen van rioolwaterzuiveringsinstallaties en van de afvoer van landbouwpercelen (P.F.M. Verdonschot, 2008).



Afbeelding 19, Van Wirdum Driehoek

4.6 Bodem

In deze paragraaf wordt de opbouw van de bodem van het voedselbos beschreven en geanalyseerd.

4.6.1 Opbouw van de bodem

Voor voedselbos Ketelbroek is onderzoek gedaan naar de bodem. Uit desktoponderzoek blijkt dat de bodem volgens de bodemkaart van Nederland ((Alterra), 2017) een Leek-/ Woudeerdgrond; zandig leem; colluvium in dal (pLn5g) is. Dit betekent dat de bodem tot de orde van de Hydro-eerdgronden behoort. Met behulp van het dictaat Veldbodembodemkunde zijn de volgende definities van de bodemcode pLn5g achterhaald (zie Tabel 3, Bodemcodes) (G.G.L Steur, 1990):

Tabel 3, Bodemcodes

p	Prominente bovengrond
L	Leemgrond
n	Nat
5	Zandig leem
g	Geeft de aanwezigheid van roestvlekken aan; (g = gley)

Door gebruik te maken van de determinatietabel uit de bijlage van het veldboekje (G.G.L Steur, 1990), zijn de volgende differentiërende kenmerken voor de Woudeerdgronden opgesomd:

- Gronden, die tussen 0 en 80 cm diepte voor minder dan de helft van de dikte uit moerig materiaal bestaan dat tevens voldoet aan de definitie van de moerige bovengrond of van een moerige tussenlaag.
- Overige minerale gronden zonder een duidelijke podzol- B en een A dunner dan 50 cm.
- Overige minerale en moerige gronden zonder een briklaag.
- Moerige en minerale gronden met een minerale eerdlaag en binnen 40 cm geen vast gesteente dat tenminste 40% CaCO₃ bevat.
- Overige eerdgronden zonder een dikke A.
- Eerdgronden met hydromorfe kenmerken.
- Overige hydro-eerdgronden zonder een moerige bovengrond of moerige tussenlaag.
- Zavel- klei en leemgronden behorend tot de hydro-eerdgronden.
- Overige hydroklei-eerdgronden zonder een veenondergrond.
- Overige hydroklei-eerdgronden met een gerijpte ondergrond.
- Hydroklei-eerdgronden met een matige dikke A (30-50 cm).

Boringen

In het voedselbos Ketelbroek zijn een drietal boringen uitgevoerd. Daarnaast is er een grondboring verricht op de naastgelegen akker om deze boring als vergelijkingsmateriaal te kunnen gebruiken. De grondboringen zijn verricht conform de NEN-5104. Uit de resultaten van de boringen is informatie verzameld over de eerste 110 cm van de bodem. De bepaling van de grondsoorten zijn weergegeven in bijlage VI.

Boring 1 (Tabel 4, Gegevens grondboring 1) is verricht in het gebied met rijenteelt.

Tabel 4, Gegevens grondboring 1

<i>cm-mv</i>	Grondsoortcode	Betekenis	Kleur	Bijzonderheden
--------------	-----------------------	------------------	--------------	-----------------------

0-50	Zs2	Matig siltig zand	Licht bruin	Uitspoeling +/- 40 cm.
50-90	Lz3	Sterk zandig leem	Donkerbruin	
90-110	Lz1	Zwak zandig leem	Donker- lichtgrijs	

Hieruit is voortgekomen dat de bovenste 50 cm bestaat uit zand dat matig siltig is. Kenmerkend in deze laag is dat er uitspoeling heeft plaatsgevonden in de laatste 10 cm (40-50 cm). De daaropvolgende 50-90 cm bestaat uit sterk zandig leem en de laatste 90-110 cm bestaat uit zwak zandig leem.

Boring 2 (zie Tabel 5, Gegevens grondboring 2) is verricht in het open gedeelte van het voedselbos.

Tabel 5, Gegevens grondboring 2

cm-mv	Grondsoortcode	Betekenis	Kleur	Bijzonderheden
0-35	Lz3h2	Sterk zandig leem, matig humeus	Donkerbruin	Kleine hoeveelheid roestvlekken
35-60	Lz1g1	Zwak zandig leem, zwak grindig	Grijs	Roestvlekken
60-110	Z	Zand	Grijs	Enkele steentjes in het profiel

De bovenste 0-35 cm bestaat uit sterk zandig leem wat matig humeus is. Deze laag is donkerbruin van kleur. In deze laag komen kleine hoeveelheden aan roestvlekken voor. In de laag van 35-60 cm komt zwak zandig leem voor, wat zwak grindig is. In deze laag komen ook veel roestvlekken voor. In de onderste laag 60-110 cm komt vrijwel alleen zand voor. In deze laag komt ook verspreid grind voor. De lagen 35-110 cm zijn grijsig van kleur, wat te maken heeft met de aanwezige roestvlekken.

Boring 3 (zie Tabel 6, Gegevens grondboring 3) is verricht in het gesloten deel van het voedselbos.

Tabel 6, Gegevens grondboring 3

cm-mv	Grondsoortcode	Betekenis	Kleur	Bijzonderheden
0-35	Zs1	Zwak siltig zand	Donkerbruin	
35-55	Zs3	Sterk siltig zand	Oranje/bruin	Uitspoeling
55-80	Zs1	Zwak siltig zand	Donkeroranje	Inspoeling
80-100	Zg2	Matig grindig zand	Grijs	Roest inspoeling
100-110	Z	Zand	Grijs	Grof zand

De bovenste 35 cm van de bodem bestaat hier uit zwak siltig zand, wat een donkerbruine kleur heeft. De daaropvolgende 15 cm bestaat uit sterk siltig zand, oranje/bruinig gekleurd. Deze laag wordt als een uitspoelingslaag gezien. Daarop volgt namelijk weer een 25 cm dikke laag met zwak siltig zand, waarin inspoeling te zien is. Vanaf 80 cm komt er een matig grindig zandlaag voor, waar ook roest inspoeling te zien is. Vanaf 100 cm bestaat de bodem uit grof zand, wat grijs gekleurd is.

De vlekken die in de bodem voorkomen zijn ontstaan doordat de grondwaterstand in die lagen stijgt en daalt. Verbinding van ijzer en mangaan worden op die plekken microbiologisch herverdeeld. De lagen die grijsig gekleurd zijn, geven aan dat daar het ijzer weer verdwenen is, de plekken waar het ijzer weer neerslaat ontstaan oranje vlekken (roest).

De ondergrond van het voedselbos bestaat voornamelijk uit leem met zand en silt. Om te kijken welke bodem goed doorlatend is, wordt er gekeken naar de grofheid van de grondsoort. Aan de hand van de korrelgrootte kan er ingeschat worden of de bodem goed of slecht doorlatend is. Des te kleiner de korrelgrootte, des te slechter de doorlatendheid van de bodem. Bevorderlijke grondsoorten voor infiltratie zijn zand en grind. Daarnaast spelen de organische stof en het siltgehalte in de bodem ook een belangrijke rol. Uit de boringen blijkt dat in boring 1 en 3 silt voorkomt. Silt in de bodem draagt bij aan een grotere infiltratiecapaciteit van de bodem. Silt heeft namelijk een kleinere korrelgrootte dan zand, waardoor het tussen de poriën van het zand gaat zitten. De bodem kan hierdoor beter water vastbinden.

Volgens Wouter van Eck (Ketelbroek) bestaat de bodem van zijn voedselbos uit löss. Löss is een fijne leem. De korrelgrootte van löss is iets groter dan kleideeltjes, maar veel kleiner dan die van zandkorrels. Löss heeft een kenmerkende gele tot oranje kleur. Daarnaast kan löss erg goed water opnemen en vasthouden.

4.6.2 Humusprofiel

In deze sub paragraaf wordt weergegeven welke humussoorten er in Ketelbroek en de naastgelegen akker voorkomen. De resultaten in deze paragraaf zijn gebaseerd op de resultaten van Walter Baas. Walter Baas heeft in Ketelbroek onder andere onderzoek gedaan naar het humusprofiel in zowel het voedselbos als de akker. Daarnaast zal er in deze paragraaf algemene informatie worden gegeven over soorten humus en hun invloeden.

Soorten humus

Mull

Een mullprofiel wordt gekenmerkt door de afwezigheid van een strooisel laag. In een mullprofiel komt zodanig veel bacteriën en regenwormen voor, dat het organische materiaal goed afgebroken kan worden. Bodems met een mullprofiel ondervinden weinig uitspoeling en is uitstekend gebufferd tegen verzuring. De nutriënten uit de strooisel laag zijn snel weer beschikbaar voor flora en fauna. Mullprofielen komen voor op leem-, zavel-, en kleibodems. Dit zijn vaak chemisch rijkere bodems. Voor het ontstaan van een mullprofiel moet de bodem minimaal 8% lutum bevatten (Baas, 2018).

Moder

Typerend voor een bodem met een moderprofiel is dat de strooisel laag zich permanent in het bodemprofiel heeft ontwikkeld. Bacteriën en schimmels zijn de afbraakorganismen van een moderprofiel. Moderprofielen zijn te vinden op zandgronden en in arme veengronden. Moder is niet gevoelig voor uitspoeling (Baas, 2018).

Mor

Typerend voor een morprofiel is de dikke strooisel laag. In bodems met een morprofiel wordt organische stof zeer langzaam afgebroken. Oorzaken hiervoor zijn zure bodems met nutriënten arm strooisel. Schimmels zijn de afbraakorganismen in dit profiel. Nutriënten in een morprofiel zijn beperkt beschikbaar voor de opname van flora en fauna, hierdoor is er ook een beperkte hoeveelheid bodemfauna aanwezig. In het bodemprofiel met een morprofiel is een scherpe begrenzing zichtbaar tussen de minerale ondergrond en de strooisel laag. Een morprofiel is erg gevoelig voor uitspoeling en verzuring (Baas, 2018).

Humusprofielen voedselbos Ketelbroek

Het humusprofiel is bepaald door gebruik te maken van de veldgids humusvormen (B. Van Delft, 2006). Uit onderzoek van Walter Baas komt naar voren dat de akker en het voedselbos mullprofielen hebben. Beide humusprofielen staan onder invloed van het grondwater. Mullprofielen komen voor in de ecosystemen van graslanden en in loofbossen met een rijke kruid laag. De afbraaksnelheid van het strooisel vindt in deze profielen snel plaats. De biodiversiteit in dit humusprofiel is er hoog en het profiel heeft een hoge aanwezigheid van veel verschillende faunagroepen. Het humusprofiel betreft een zwak zure tot neutrale zuurgraad en de vermenging van de humus in de minerale bodem is volledig.

Het voedselbos Ketelbroek heeft een beekhydromull-profiel. Dit profiel komt voor in beekdalbossen. Een beekdal is een lagergelegen gebied in het dekzandgebied van Nederland, waar een beek doorstroomt. Bossen die op deze bodem groeien, groeien op een beek- of rivierafzetting, wat direct onder invloed staat van beek- of rivierwater (Ministerie van Landbouw, sd). In het geval van Ketelbroek staat het bos onder invloed van kwelwater. Bij dit profiel geldt dat er gley-verschijnselen ondieper dan 25 cm aanwezig moeten zijn en er podzolontwikkeling ontbreekt. Daarbij moet de A-horizont dikker zijn dan 2 cm. In alle drie de boringen komt een A-horizont van gemiddeld 30 cm voor. Wederom komen ook hier de gley-verschijnselen pas na 35 cm-mv voor (A.G. Jongmans, 2013).

4.6.3 Organisch stofgehalte

Het organisch stofgehalte in de bodem is één van de indicatoren voor het waterbergend vermogen van de bodem. Indicatoren als bodemtextuur, bodemstructuur en indringingsweerstand zijn locatie afhankelijk en zijn indicatoren waar een voedselbos zelf geen invloed op heeft. Naast de organische stof zijn ook doorworteling en bodemleven indicatoren voor het waterbergend vermogen. Deze drie zijn allemaal beïnvloedbaar door het voedselbos (Green deal voedselbossen de Dommel, 2018).

Doordat de werking van een voedselbos berust op natuurlijke processen waarbij geen (kunst)mest wordt aangevoerd, maar ook geen plantenresten afgevoerd worden, komt er veel organisch materiaal op/in de bodem. Het land wordt niet geploegd en de resten worden op een natuurlijke manier verteerd en in de bodem opgenomen. Door dit natuurlijke proces komt de organische stof uiteindelijk ook dieper in de grond terecht (zie paragraaf 4.6.1).

Resultaten

Uit de veldwerkresultaten zijn de organisch stofgehaltes in de verschillende bodemlagen duidelijk geworden (zie Tabel 7, Percentage organische stofgehalte per deelgebied). Op drie van de vier deelgebieden is een grondboring gedaan. Er is geen boring uitgevoerd in de notenlaan vanwege tijdgebrek. Aangezien de overige drie deelgebieden hetzelfde percentage organische stof in de eerste laag kent, nemen we aan dat de eerste laag van de notenlaan ook een percentage van 5,1% heeft.

Wat verder opvalt aan de resultaten is dat in de ondergrond van het rationele bos (90-110) een hoger percentage organische stof in de bodem zit. De mogelijke oorzaak hiervan is dat het gebied is opgehoogd in 2012. De ophoging bestaat uit grond wat vrij is gekomen bij het uitgraven van de watergang op het perceel en deze grond is over het oorspronkelijke maaiveld (voorheen akker) verspreid. De grond bestaat dus uit grond dat in het verleden allemaal dicht bij het maaiveld heeft gelegen en daardoor relatief veel organische stof bevat.

Ook bij het open voedselbos is geen aflopend percentage naarmate men dieper in de bodem gaat. De bovenste laag kent hier wel de hoogste waarde, namelijk 5,2%. De tweede laag (35-60) heeft een percentage van 1,2% en daarmee de laagste van de boring. De onderste laag heeft een percentage van 2,8% en is daarmee meer dan dubbel zo groot als het percentage van de tweede laag. Een duidelijke verklaring hiervoor is niet gevonden.

In het gesloten voedselbos is een aflopend profiel gevonden. Dit is een logisch gevolg van bijna tien jaar niet roeren in de grond. De bovenste laag kent het hoogste percentage (5,1%) naarmate men de ondergrond in gaat loopt het percentage af (0,5%). Uitwerkingen en resultaten van de metingen zijn terug te vinden in bijlage VII.

Tabel 7, Percentage organische stofgehalte per deelgebied

<i>Deelgebied</i>	<i>Laag</i>	<i>OS %</i>
<i>Rationeel voedselbos</i>	0-50	5,1%
	50-90	4,9%
	90-110	5,5%
<i>Open voedselbos</i>	0-35	5,2%
	35-60	1,2%
	60-110	2,8%
<i>Gesloten voedselbos</i>	0-30	5,1%
	30-55	3,8%
	55-80	1,9%
	80-100	1,5%
	100-110	0,5%

4.6.4 Doorlatendheid

Infiltratie is het indringen van water in de bodem. De snelheid waarmee dit gebeurt is de infiltratiesnelheid en wordt ook wel de doorlatendheid genoemd. De doorlatendheid is afhankelijk van

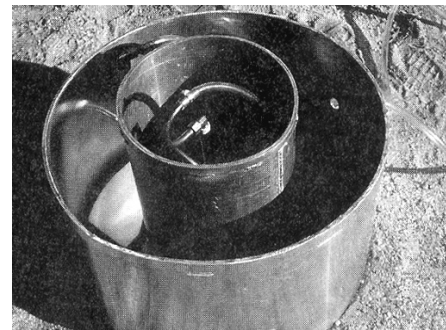
veel verschillende factoren. Bodemsoort, vochtgehalte, doorworteling, bodemleven, landgebruik et cetera. Ook kent de doorlatendheid een grote variatie op zeer kleine schaal. Een voetafdruk kan al zorgen voor een slechtere doorlatendheid op die specifieke plek.

De doorlatendheid van het voedselbos is bepaald met twee infiltratieproeven. Proef 1 met infiltratieringen heeft in het voedselbos zelf plaatsgevonden, bij proef 2 zijn monsters uit het voedselbos onderzocht in het laboratorium op Van Hall Larenstein. In bijlage VIII wordt een beschrijving gegeven van hoe beide proeven werken en in bijlage IX zijn de complete gegevens van de proeven terug te vinden.

De onverzadigde infiltratiecapaciteit is groter naarmate de grond droger is, dit ontstaat als het gevolg van hoge capillaire krachten. Wanneer het vochtgehalte in de bodem toeneemt zal het verschil in zuigspanning afnemen, uiteindelijk tot een constante waarde in de verzadigde doorlatendheid. De waterdoorlatendheid neemt toe naarmate de bodem meer vocht heeft opgenomen, omdat er meer poriën gaan deelnemen aan het watertransport.

Ringinfiltrrometer

De metingen zijn uitgevoerd in de deelgebieden schooltuin en het gesloten bos van het voedselbos, twee vrij uiteenlopende locaties op basis van ondergrond en beschutting. Op **Error! Reference source not found.** is een opstelling van de ringinfiltrrometer te zien.



Afbeelding 20 Opstelling (Roeterd, 2017)

De resultaten van het veldwerk in het voedselbos wijken veel af van de referentiewaarden van de voorkomende bodemsoorten. De afwijkende resultaten zijn waarschijnlijk het gevolg van een onvoldoende uitwerking van de proef. Dit komt doordat er tijdens de ringinfiltrrometerproef niet direct water in de buurt aanwezig was waardoor de druk in de buitenring op sommige momenten in de proef te laag was. Het is hierdoor niet realistisch om de waarden van de metingen te gebruiken voor het opstellen van de waterbalans. De referentiewaarden van de infiltratiesnelheid worden daarom gebruikt bij het doorrekenen van de waterbalans. De referentiewaarden zijn afkomstig uit het Grondwaterzakboekje (Bot, 2012) In Tabel 8 staan de verschillende referentiewaarde per grondsoort weergegeven.

Tabel 8, Referentiewaarden doorlatendheid per grondsoort

Grondsoort	Doorlatendheid (m/dag)
Zware klei	0.0001
Potklei	0.001
Matig zware klei	0.01
Zandige klei	0.05
Kleileem	0.05
Veen	0.001-0.1
Kleilig veen	0.005
Sterk zandig veen	0.05
Leem/löss	0.05
Zandige leem	0.3
Lichte zavel	0.5
Teelaarde	5
Schelpen	30
Fijn zand	1-10
Duinzand	7
Grond zand	30
Zeer grof zand	80
Uiterst grof zand	200
Fijn grind	1.000-10.000
Grof grind	10.000-100.000

De bodem van het voedselbos is geclassificeerd als zandige leem en löss en leem, hierbij hoort een minimale doorlatendheid van 0,05 m per dag.

Tabel 9 Doorlatendheid voedselbos

Boring	Referentie doorlatendheid (mm/dag)
Rijenteelt	50
Open voedselbos	50
Gesloten voedselbos	50

Permeameter

Per grondboring in voedselbos Ketelbroek zijn ook twee ringmonsters m.b.v. steekringen genomen. Eén monster van het maaiveld en een monster op een diepte van ongeveer 20 cm. Deze monsters zijn in het laboratorium van Van Hall Larenstein m.b.v. de permeameter onderzocht op de doorlatendheid.

Het meten van de infiltratiecapaciteit met behulp van een permeameter gaat in grote nauwkeurigheid. Om hier vertrouwbare gegevens uit te krijgen is het van belang dat er minimaal vijf monsters van een bepaalde plek worden meegenomen naar het laboratorium. Tijdens het veldwerk in het voedselbos is er per boring maar op een locatie een steekringen op twee verschillende hoogtes in de grond gestoken. Dit is uit tijdgebrek gebeurt. Doordat er voor deze proef te weinig gegevens beschikbaar zijn is het niet mogelijk betrouwbare resultaten van de steekringen mee te nemen in het doorrekenen van de waterbalans.

Waarnemingen

Naast de metingen en referentiewaarden kan de doorlatendheid op grove schaal worden geschat op basis van waarnemingen. De dag voor het veldwerk is er een redelijke bui gevallen. De eigenaar van het voedselbos was op dat moment aanwezig en heeft geen plasmvorming geconstateerd. Aan de hand van de weergegevens van die bui kunnen we stellen dat de bodem van het voedselbos bij een bui van 15 mm voldoende doorlatend (Weerstatistieken De Bilt - 2018, 2018). Al het water wat bij een bui van 15 mm op de bodem terecht komt kan dus infiltreren.

5 Akker

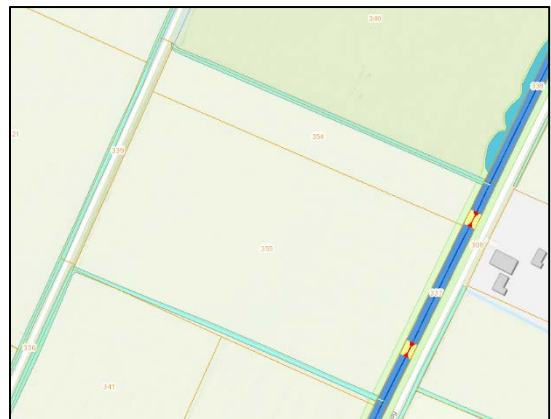
In dit hoofdstuk worden de kenmerken van de akker beschreven ten aanzien van het landgebruik, bodem, watersysteem, humus, organische stof en doorlatendheid. De kenmerken en de gegevens van de akker worden gebruikt, om te kijken hoe de waterbalans van de akker verschilt met de waterbalans van het voedselbos. Ondanks de ligging van de akker, direct naast het voedselbos, zijn de kenmerken ervan niet hetzelfde als bij het voedselbos.

5.1 Landgebruik

Het landgebruik van de akker is grasland. De status is dat het een blijvend grasland is. Het grasland valt in grondwatertrap III, wat betekent dat de hoogste grondwaterstand hoger dan 40 cm-maaiveld is en de laagste grondwaterstand rond de 80 tot 120 cm-maaiveld ligt (BoerenBunder, 2017).

5.2 Water

De akker is omringt door C-wateren (zie Kaart 4, Leggerkaart Waterschap Rivierenland, paragraaf 4.5 en Afbeelding 21 Watergangen) Deze C-watergangen lozen op een A-watergang. Deze A-watergang stroomt richting het voedselbos en vanaf daar watert de watergang af op de Leigraaf. De Leigraaf stroomt vervolgens richting de Groesbeek en deze meandert onder vrij verval af naar Duitsland (zie paragraaf 4.5). Om het waterpeil op peil te houden, wordt er op de akker gewerkt met drainage.



Afbeelding 21 Watergangen (Rivierenland, 2017)

Voor het opstellen van de waterbalans zal geen rekening worden gehouden met deze drainage.

5.3 Bodem

In sub paragraaf 5.3 Bodem wordt beschrijving gegeven van de bodemopbouw van de akker. In de paragraaf wordt ingegaan op het humusprofiel, het organisch stofgehalte en de doorlatendheid.

5.3.1 Opbouw van de bodem

Uit onderzoek is gebleken dat de bodem van de akker, volgens de bodemkaart van Nederland, hetzelfde is als het voedselbos, namelijk een Leek-/Woudeerdgrond. Op de akker is geboord en daaruit zijn de volgende gegevens voortgekomen (zie Tabel 10):

Tabel 10, Gegevens grondboring akker

cm-mv	Grondsoortcode	Betekenis	Kleur	Bijzonderheden
0-30	Zs2h1	Zand; matig siltig; zwak humeus	Bruin	
30-50	Lz1h1	Leem; zwak zandig; zwak humeus	Bruin/grijs	Roestvlekken
50-80	Zs3	Sterk siltig zand	Grijs	Grindlaag
80-110	Zs1	Zwak siltig zand	Grijs	

De bodem van de akker wijkt niet veel af van de bodem van het voedselbos. De bodem bestaat hoofdzakelijk uit zand in combinatie met silt en humus. Daarnaast bevat de bodem een leemlaag, die een zwak zandig en een zwakke humeuze laag bevat. Ook deze bodem vertoont roestvlekken en bevat een grindlaag. In bijlage VI is de gehele boorstaat terug te vinden.

5.3.2 Humusprofiel

Het humusprofiel van de akker is Akkerhydromull. Dit humusprofiel wordt gekenmerkt door antropogene activiteit (ploegen). De humuslaag krijgt de benaming Akkerhydromull als er gley-verschijnselen ondieper dan 25 cm aanwezig zijn en er podzolontwikkeling ontbreekt. Wanneer de A-horizont dikker is dan 2 cm krijgt de humusvorm de naam akkerhydromull. In het boringmonster van de akker is naar voren gekomen dat er wel een dikke A-horizont aanwezig is, maar dat de gley-verschijnselen pas vanaf 30 cm-mv plaatsvindt. De A-horizont voor een akker wordt weergegeven als een Ap horizont. De p staat hier voor ploegen (A.G. Jongmans, 2013).

5.3.3 Organisch stofgehalte

Tabel 11 Organisch stofgehalte akker

Ook op de akker zijn grondmonster genomen en geanalyseerd op het organisch stofgehalte. Het organisch stofgehalte in de bodem loopt geleidelijk af naarmate men dieper in de ondergrond komt. De bovenste laag kent een hoog organisch stofgehalte van bijna 10%. Dit hoge percentage is te verklaren door de agrarische activiteiten die hier plaatsvinden. Dieper in de ondergrond neemt het organisch stofgehalte uiteindelijk af naar 0,8% (zie Tabel 11 en bijlage VII).

Deelgebied	Laag	%
Akker	0-30	9,6%
	30-50	4,9%
	50-80	2,3%
	80-110	0,8%

5.3.4 Doorlatendheid

De doorlatendheid van de akker hangt samen met vele factoren. Door ploegen wordt de bovengrond los gemaakt waardoor water makkelijker kan infiltreren. Door de zware machines wordt echter de ondergrond samengedrukt wat ervoor zorgt dat water slecht de ondergrond in kan trekken.

Ringinfiltrrometer

Op het akker zijn twee verschillende infiltratieproeven uitgevoerd met behulp van de ringinfiltrrometer. De proeven zijn tientallen meters van elkaar uitgevoerd. Uit beide proeven zijn verschillende resultaten gekomen. De resultaten zijn weer te vinden in bijlage IX.

Infiltratieproef 1 heeft 5 minuten geduurd, het water in de middelste ring infiltreerde tussen de 0 en 2 mm per 0,5/1 minuut. Deze gegevens zijn doorgerekend naar mm/uur. De infiltratiecapaciteit is 94 mm/uur. Infiltratieproef 2 heeft 7 minuten geduurd, het water infiltreerde bij deze proef minder snel als bij proef 1. Het water infiltreerde maar enkele mm per minuut. Deze gegevens zijn doorgerekend waaruit blijkt dat uit infiltratieproef 2 een infiltratiecapaciteit van 37,5 mm/uur komt.

Deze twee waardes komen niet overeen met de referentiewaarde voor het bodemtype van de akker. De infiltratiecapaciteit voor zandige leem is 12,5 mm/uur.

Waarnemingen

In tegenstelling tot het voedselbos zijn er bij de akker wel plassen ontstaan door de regenbui van de dag voor het veldwerk. Op het moment van de bui zelf is er plasvorming geconstateerd en de dag erna stonden de plassen ook nog op de akker. Omdat er geen onderbouwde uitspraak gedaan kan worden over de mate waarin de akker doorlatend is, wordt er aangenomen dat het maximaal infiltrerend vermogen in ieder geval kleiner is dan de bui die is gevallen. Er wordt dus aangenomen dat maximaal infiltrerend vermogen van de akker 15 mm/dag is.

6 Waterbalans

In dit hoofdstuk wordt de waterbalans van voedselbos Ketelbroek en de akker weergegeven. Een waterbalans kent vele variabelen. Veder in het hoofdstuk worden de uitgangspunten beschreven die de basis vormen voor de waterbalans, per component wordt beschreven hoe de berekening in elkaar zit en waar de gegevens vandaan komen.

6.1 Waterbalans Ketelbroek

In onderstaande tabel is de waterbalans van het voedselbos weergegeven. Omdat de deelgebieden verschillende eigenschappen hebben, zijn hier verschillende berekeningen voor gemaakt. Het overzicht van de waterbalansen is terug te vinden in bijlage X.

Tabel 12, Waterbalans ketelbroek

Juni 2016	Categorie	Eenheid	Rationeel			Open			Gesloten			Notenlaan		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Neerslag	Instroom	mm/decade	1,5	97,6	66,8	1,5	97,6	66,8	1,5	97,6	66,8	1,5	97,6	66,8
Kwel	Instroom	mm/decade	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Interceptie	Berging	mm/decade	1,5	13,6	15,1	1,5	15,7	17,2	1,5	22,6	24,2	1,5	19,6	21,2
Infiltratie	Berging	mm/decade	0	84	51,7	0	81,9	49,6	0	75	42,6	0	78	45,6
Capillaire opstijging	Berging	mm/decade	1,2	0,84	0,87	2	1	1	2	1,8	1,2	2	1,6	1
plasvorming en oppervlakkige afstroming	Uitstroom	mm/decade	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
grondwaterstand		cm -mv	219,20	219,80	217,70	164,20	164,80	162,70	189,20	189,80	187,70	209,20	209,80	207,70
waterberging in de bodem begin	Berging	mm/decade	139,05	139,7	156,8	247,5	262,3	270,2	480	491,5	508,4	323,6	337,6	349,1
waterberging in de bodem eind	Berging	mm/decade	115,15	143,1	157,8	246,7	264,5	270,6	447,6	494,7	509,1	322	340,2	349,8
verdamping	Uitstroom	mm/decade	35,9	39,9	31,3	28	30,8	24,1	49,1	45,6	35,8	35,9	39,9	31,3
wegzijging	Uitstroom	mm/decade	0	18,2	21,2	0	39,6	31,3	0	15,4	11,2	0	27,6	17,9

In het voedselbos zijn per deelgebied meerdere vegetatielagen aanwezig. Dit betekent hoe meer vegetatie, hoe meer interceptie er plaats vindt en daarmee minder infiltratie in de bodem. In de tabel is te zien dat de interceptie toeneemt per deelgebied. In het Gesloten voedselbos is de interceptie het hoogst. Het kronendek in dit deelgebied is het grootst, minder neerslag infiltreert hier in de bodem. Duidelijk mag zijn dat de aanwezigheid van bomen, zorgt voor een hogere interceptie. Dit is ook terug te zien in de interceptiewaarden van het deelgebied de Notenlaan. Hetzelfde geldt voor de verdampingwaarden. De actuele verdamping in het open voedselbos is aanzienlijk lager dan in het gesloten voedselbos, de Notenlaan en in het rationele voedselbos. Ook hierbij heeft het gesloten voedselbos de hoogste verdamping.

Alle effectieve neerslag dat valt, infiltreert in de bodem. Er vindt geen afstroming en plasvorming in het gehele voedselbos plaats. Dit geeft aan dat de doorlatendheid in het voedselbos hoog is. De effectieve worteldiepte is in elk deelgebied anders. In het gesloten voedselbos is de effectieve worteldiepte tot 1500 mm diep en in het rationele tot 400 mm. De deelgebieden staan op volgorde van oplopende effectieve worteldiepte. Dit betekent dat de maximale waterbergingscapaciteit per deelgebied toeneemt van 128 mm tot 509 mm.

De grondwaterstand is in de waterbalans meegenomen, omdat de hoogte van de capillaire opstijging van de grondwaterstand afhankelijk is. Ook is er een verband te zien tussen de hoeveelheid wegzijging en de hoogte van de grondwaterstand. Hoe meer water weg zijgt, hoe hoger de grondwaterstand wordt. Dit is ook terug te zien in Tabel 12. De wegzijging neemt per decade toe, waardoor het grondwater stijgt.

Wordt er gekeken naar de wegzijging, is er te zien dat er in het open voedselbos het meeste water weg zijgt. In de tweede decade met de piekbuien, vindt de meeste wegzijging plaats. Hoewel de notenlaan een grote waterbergingscapaciteit heeft, zijgt hier veel water weg in vergelijking met het rationele voedselbos, waar de waterbergingscapaciteit het kleinst is. Dit kan liggen aan de hoeveelheid lutum of silt wat in die gebieden aanwezig is in de bodem. In de notenlaan is echter niet geboord, dus kan daarvoor geen vergelijking worden gemaakt. In het open voedselbos is de wegzijging ook behoorlijk hoog. Oorzaak hiervoor is dat er vanaf 60 cm onder het maaiveld er een dik zandpakket ligt. Zand zorgt ervoor dat het water goed infiltreert en dus niet vastgehouden wordt.

De waterberging is berekend voor het begin van de dag en het einde van de dag. De waterberging aan het begin van de dag geeft weer, hoeveel water er al in de onverzadigde zone zit ten opzichte van de maximale waterberging. De waterberging aan het eind van de dag in de wortelzone, is de waterberging van het begin, met daarbij opgeteld de capillaire opstijging, berekening, de infiltratie in de bodem en de verdamping actueel. De waterberging aan het eind van de dag, kan nooit meer zijn dan de maximale waterberging. Het water wat dus te veel is, zal wegzijgen.

Op volgorde van de deelgebieden in Tabel 12 zijn de volgende waarden de maximale capaciteit voor de waterberging: 159,05 mm, 271,73 mm, 511,28 mm en 351,51 mm. Dit komt uit op een gemiddelde maximale berging van 278,83 mm over het gehele voedselbos. In elke opvolgende decade neemt de waterberging aan het eind van de decade steeds toe. Daarbij is te zien dat aan het eind van de maand en dus de laatste decade, alle deelgebieden bijna de maximale waterberging bereiken.

De waterbalansen voor het rationele voedselbos, het open voedselbos, gesloten voedselbos en de Notenlaan zijn terug te vinden in bijlagen XI, XII, XIII en XIV.

6.2 Waterbalans Akker

In deze paragraaf wordt de waterbalans van de akker weergegeven en beschreven. Hierbij wordt specifiek gekeken naar de uitgerekende factoren en welke invloed deze hebben op elkaar. In Tabel 13, is de waterbalans voor de akker voor de maand juni 2016 weergegeven. De berekeningen zijn per dag verricht, maar voor het overzicht is de waterbalans in het rapport opgenomen in decades. In bijlage XV is de gehele Excel-sheet te vinden.

Tabel 13, Waterbalans akker

Juni 2016	Categorie	Eenheid	Akker		
			1	2	3
Neerslag	Instroom	mm/decade	1,5	97,6	66,8
Kwel	Instroom	mm/decade	1,5	1,5	1,5
Interceptie	Berging	mm/decade	1,5	7,3	8
Infiltratie	Berging	mm/decade	0	70,6	57,7
Capilaire opstijging	Berging	mm/decade	1,8	1,26	1,14
plasmvorming en oppervlakkige afstroming	Uitstroom	mm/decade	0	19,7	1,1
grondwaterstand		cm -mv	159,20	159,80	157,70
waterberging in de bodem begin	Berging	mm/decade	122,11	104,21	134,51
Vochtgehalte	Øv	Gem	0,45	0,5	0,56
waterberging in de bodem eind	Berging	mm/decade	104,21	134,51	142,01
verdamping	Uitstroom	mm/decade	35,9	38	29,8
wegzijging	Uitstroom	mm/decade	0	14,9	31,8

De akker bestaat uit grasland, wat betekent dat er niet met verschillende lagen vegetatie berekent hoeft te worden. De effectieve worteldiepte van grasland is 250 mm waardoor er, met een percentage van 9,8 % organische stof, een totale waterberging in de bodem ontstaat van 142,11 mm. Uit aangenomen waarden blijkt dat de maximale infiltratie van grasland 15 mm per dag bedraagt. Deze waarde heeft invloed op de infiltratie- en afstromingswaarden. Als er naar de tweede decade wordt gekeken, is er te zien dat er in deze 10 dagen een grote hoeveelheid neerslag is gevallen. Opvang van neerslag door bladeren, is bij grasland gering. Dit bedraagt maximaal 1 mm per dag. Door dit gegeven is de effectieve neerslag wat de bodem bereikt groot op een grasland. Aangezien er maar maximaal 15 mm per dag kan infiltreren in de bodem, zal er in de tweede decade 19,7 mm neerslag afstromen. Als er naar de derde decade wordt gekeken, is er te zien dat bijna de gehele effectieve neerslag infiltreert in de bodem. Dit heeft ermee te maken dat de neerslag in deze decade veel regelmatig is gevallen en met minder piekbuien dan in de tweede decade. Bij regelmatige buien heeft de bodem dus een goede infiltratiecapaciteit aangezien er dan weinig neerslag zal afstromen en er weinig plasmvorming zal ontstaan.

Aangezien de gewasfactor voor grasland 1 is, is de potentiële verdamping (E_p) gelijk aan de referentieverdamping (E_0). De reductiecoëfficiënt is ook gelijk aan 1 doordat het vochtgehalte de gehele maand boven het optimale vochtgehalte van 0,18 ligt. Met dit gegeven mag geconcludeerd worden dat er geen verdroging in de maand juni aan de orde is. Het vochtgehalte komt namelijk niet tussen verwelkingswaarden 0,09 tot 0,18.

De capillaire opstijging in deze maand is maximaal 1,8 mm/dag. Naarmate er meer neerslag valt, neemt de capillaire opstijging af. De bodem raakt namelijk steeds meer verzadigd, waardoor er minder hangwater naar de onderkant van de wortelzone omhoog hoeft te worden getrokken, de zuigspanning van de vegetatie wordt dan steeds minder.

De waterberging in de wortelzone aan het begin ligt 20 mm lager dan de maximale waterberging. Er is hier namelijk rekening gehouden met de droogte in mei. Gedurende de eerste decade, vindt er meer verdamping plaats, dan dat er neerslag infiltreert in de bodem. De waterberging in de wortelzone aan het eind van de eerste decade ligt dan ook lager. Gedurende de tweede decade neemt de waterberging weer toe. Ook is te zien dat binnen deze decade de maximale waterbergingscapaciteit van de bodem bereikt is. Er heeft in de tweede decade namelijk 14,9 mm wegzijging plaats gevonden. Wat opmerkelijk is, is dat hoewel er wegzijging plaats heeft gevonden, de grondwaterstand in de derde decade lager ligt dan in de tweede decade. In de derde decade infiltreert dan vrijwel de gehele effectieve neerslag, echter zijgt meer dan de helft van dit water weg. De waterberging aan het eind van deze decade en dus aan het einde van de maand juni 2016, eindigt op 142,01 mm. Dit is op 0,1 mm na, de maximale berging van de bodem.

6.3 Uitgangspunten

Bij het opstellen van de waterbalans wordt rekening gehouden met een aantal uitgangspunten. Deze uitgangspunten hebben betrekking op de omstandigheden van het veldwerk, gebruikte waterstanden en de neerslag en verdamping gegevens van een gehele maand.

Veldwerk

Het veldwerk is uitgevoerd op woensdag 30 mei 2018. De weersomstandigheden die dag waren als volgt (Weerstatistieken De Bilt - 2018, 2018):

- Temperatuur max.: 26,5 °C
- Temperatuur min.: 16,8 °C
- Windrichting: zuid-zuid-oost
- Windsnelheid gem.: 2,0 m/s
- Neerslag: 0 mm
- Luchtvochtigheid gem.: 80%

Naast deze gegevens is het van belang om te weten dat het de dag voor het veldwerk geregend heeft en de grond dus nog deels nat was van de dag ervoor. Voor dinsdag 29 mei waren de omstandigheden als volgt (Weerstatistieken De Bilt - 2018, 2018):

- Temperatuur max.: 30,7 °C
- Temperatuur min.: 18,0 °C
- Windrichting: noord-noord-oost
- Windsnelheid gem.: 2,6 m/s
- Neerslag totaal: 14,8 mm
- Luchtvochtigheid gem.: 79%

Grondwaterstanden

Voor de gegevens over de grondwaterstanden is gebruik gemaakt van het peilbuizen netwerk van De Bruuk. De dichtstbijzijnde peilbuizen met voldoende beschikbare data is peilbuis PS03 – Plakseweg (Provincie Gelderland; Eijkelpark Soil & Water, 2018).

Neerslag en verdamping

Voor het opstellen van de waterbalans zijn weergegevens nodig. De weergegevens bevatten data over neerslag hoeveelheden en over de referentieverdamping. De weergegevens van de maand juni 2016 zijn gebruikt, deze maand is gekozen omdat dit een van de nattere maanden is van de afgelopen jaren. Gegevens van meteorologisch station Volkel worden gebruikt omdat deze het dichtst bij het voedselbos Ketelbroek gelegen is.

Waterberging

Als uitgangspunt is een vochtgehalte genomen die representatief is voor 1 juni 2016 om vervolgens de rest van de maand door te rekenen. In de maand mei 2016 is het neerslagtekort ongeveer -60 tot -90 mm. Doordat het aan het eind van de maand nog een keer regent, komt het neerslagtekort op 1 juni 2016 uit op ongeveer 0 tot -30 mm. De beginwaarde voor het vochtgehalte in de bodem is berekend door de maximale berging min een neerslagtekort van ongeveer 20 mm te doen (KNMI, 2018).

6.4 Componenten bij instroom

Bij de instroom zijn drie componenten te onderscheiden. Per component wordt toegelicht welke variabelen hier invloed op hebben en hoe dit is verwerkt in de berekening voor de waterbalans.

6.4.1 Neerslag

Neerslag is een van de belangrijkste componenten in een waterbalans van een regenwater gevoed watersysteem. Het voedselbos Ketelbroek wordt ook gevoed door kwelwater en is hierdoor niet volledig afhankelijk van de neerslag. Toch is de vegetatie in het gebied grotendeels afhankelijk van de neerslag en wordt de grondwaterstand hierdoor ook medebepaald.

De gegevens van de neerslagreeksen zijn beschikbaar gesteld vanuit het KNMI. Onder de afdeling klimatologie staan maandoverzichten van de neerslag en verdamping in Nederland van afgelopen 15 jaar beschikbaar gesteld. Per meteorologisch station is een overzicht gegeven van de neerslag en verdamping die per maand is voorgekomen. Bij het opstellen van de waterbalans zijn de gegevens van het meteorologisch station in Volkel gebruikt, dit is het dichtstbijzijnde meetstation in de buurt van het voedselbos Ketelbroek.

De neerslag- en verdampinggegevens zijn van de maand juni in 2016. Dit is een relatief vochtige maand geweest, waarin 165,9 mm neerslag is gevallen.

Doorlatendheid

De doorlatendheid van de verschillende bodemtypen zijn meegenomen als post in de waterbalans. De neerslag die niet binnen een etmaal infiltreren kan zal oppervlakkig afstromen of op het land blijven staan.

Doorlatendheid bij de akker is maximaal 15 mm per dag op basis van waarnemingen. De doorlatendheid van de verschillende deelgebieden van het voedselbos bedraagt 50 mm per dag. (zie paragraaf 5.3.4)

6.4.2 Capillaire opstijging

Capillaire opstijging is een proces in de bodem waarbij water zich als het ware aan de gronddeeltjes omhoog 'trekt'. Het water verplaatst zich van de grondwaterspiegel naar het hangwater dicht gelegen bij de wortelzones. Capillaire opstijging treedt voornamelijk op in bodems waar een hoge grondwaterstand voorkomt.

De capillaire opstijging in een bodem is afhankelijk van de diepte van de grondwaterstand aan de onderkant van de wortelzone en van de zuigspanning in de wortelzone. De wortelzone per deelgebied is weergegeven in paragraaf 6.6.3. De zuigspanning is per bodemtype verschillend. De zuigspanning wordt bij de berekening vastgesteld op de vaste waarde van $pF=2$, waarna de zuigspanning tegen de stijghoogte wordt uitgezet.

Voor een löss, zeer sterk lemig zand en zeer fijne zandbodem wordt een stijghoogte van 2mm per etmaal vastgesteld bij $pF=2$. Deze gegevens zijn afkomstig uit het boek Cultuurtechnisch vademecum (Dreven, et al., 2000).

6.4.3 Kwel

Door de lage ligging tussen hoog opgestuwde omliggende gebieden, is er sprake van kwel in het voedselbos. Kwelwater biedt een leefomgeving voor specifieke dier- en plantensoorten die afhankelijk zijn van de unieke chemische samenstelling van kwelwater. Op basis van kwelonderzoek in omliggende gebieden is er gesteld dat er ongeveer 1,5 millimeter kwel per dag komt (Hulst & Hoeks, 1987). Dit wordt niet meegenomen in de bovengrondse waterbalans, omdat er vanuit gegaan kan worden dat het kwelwater toegevoegd wordt aan het grondwater.

6.5 Berging

In principe is al het water wat in de grond infiltreert berging van het water. In onverzadigde grond wordt het water opgenomen in de poriën en door het organisch stof in de bodem. Wanneer het maximale waterbergend vermogen is bereikt, zijgt het water weg naar het grondwater. Het wegzijgen van de bodem naar het grondwater valt onder de uitstroom in de waterbalans.

6.5.1 Grondsoort

Voor het bepalen van het gedrag van het water in de bodem en de gewasverdamping is gebruikt gemaakt van een opgestelde tabel vanuit school. De tabel geeft de vochtbalans van de bodem weer waarbij rekening wordt gehouden met de gewasverdamping. Voor de invulling van de tabel worden gegevens gebruikt van een bepaalde grondsoort. De gebruikte grondsoort is: uiterst humusarme, zandige leem. Hiervoor is gekozen, omdat deze grondsoort het dichtst in de buurt komt van de aangetroffen grondsoorten (Dreven, et al., 2000).

6.5.2 Organisch stofgehalte

Vele onderzoeken hebben de relatie tussen organische stof in de bodem en het waterbergend vermogen onderzocht. De resultaten hiervan zijn uiteenlopend en zijn op verschillende manieren onderzocht (modelstudie of veldwerk). Wanneer deze resultaten met elkaar worden vergeleken kan de algemene conclusie worden getrokken dat 1% organische stof in de bodem bijdraagt aan extra waterberging van 6,8 mm op zandgrond en 9,3 mm op kleigrond (CLM Onderzoek en Advies, 2016).

In het onderzoek naar voedselbos Ketelbroek is gerekend met 6,8 mm waterberging per 1% organische stof in de bodem. Dit is gedaan omdat de eigenschappen van leem meer overeenkomen met zand dan met klei.

De grondsoort waarmee is gerekend bevat 0,5% organische stof (CLM Onderzoek en Advies, 2016). Voor de verwerking in de waterbalans wordt per deelgebied het percentage organische stof verminderd met 0,5% omdat er in de gebruikte grondsoort al 0,5% organische stof zit. Het netto percentage organische stof is vermenigvuldigd met 6,8 mm waterberging.

6.5.3 Maximale bergingscapaciteit

Voor de bergingscapaciteit is het belangrijk hoe groot de wortelzone is. De effectieve wortelzone is de diepte waarop 90% van de vegetatie zich bevindt (Bolt, et al., 2014). Daarom is de volgende tabel opgesteld:

Tabel 14, Effectieve wortelzone per deelgebied

Deelgebied	Wortelzone (mm)
Rationeel voedselbos	400 ¹
Open voedselbos	750 ²
Gesloten voedselbos	1500 ³
Notenlaan	1000 ⁴
Akker	250 ⁵
¹ (Boon, Das, & Pouwer) ² Schatting ³ (Verhagen, et al., 2014) ⁴ (Schrijver, Kint, Geudens, & Lust, 2001) ⁵ (Jansen, Runhaar, Witte, & Dam, 2000)	

Op basis van bovenstaande gegevens kan de volgende tabel worden gemaakt, waarbij de bergingscapaciteit in de bodem is berekend.

Tabel 15, Bergingscapaciteit in mm

	Rationeel	Open voedselbos	Notenlaan	Gesloten voedselbos	Akker
Eff worteldiepte	400	750	1000	1500	250
Waterberging in WZ door grondsoort	128	240	320	480	80
Waterberging door OS	31,05	31,73	31,51	31,28	62,11
Waterberging totaal	159,05	271,73	351,51	511,28	142,11

6.6 Componenten bij uitstroom

Bij de uitstroom zijn vier componenten te onderscheiden. Per component wordt toegelicht welke variabelen hier invloed op hebben en hoe dit is verwerkt in de berekening voor de waterbalans.

6.6.1 Interceptie

Niet alle neerslag dat valt komt terecht op de bodem. Een deel van het water wordt opgevangen door het plantmateriaal dit wordt interceptie genoemd. Over de hoeveelheid neerslag die hierdoor wordt ondervangen zijn weinig gegevens bekend. Aan de hand van beschikbare informatie (Gerrits, 2018) en inschattingen zijn per deelgebied deze hoeveelheden bepaald (zie Tabel 16).

Tabel 16 Interceptie waarden

Deelgebied	Interceptie (mm)
Rationeel voedselbos	1,9
Open voedselbos	2,2
Gesloten voedselbos	3,3
Notenlaan	2,8
Akker	1

6.6.2 Oppervlakkige afstroming

Dat wat niet kan infiltreren (zie doorlatendheid paragraaf 4.6.4 en paragraaf 5.3.4)

6.6.3 Verdamping

De verdamping van een bos of akker is van verschillende factoren afhankelijk. Makkink heeft voor Nederlandse omstandigheden een eenvoudige formule opgesteld om een referentie-verdamping te berekenen (E_{ref}). Deze is gebaseerd op de instraling van de zon en de temperatuur van de lucht. De gebruikte referentie-verdamping opgevraagd uit de daggegevens van de maand juni, gemeten bij het nabijgelegen weerstation in Volkel (KNMI, 2018).

Afhankelijk van het vegetatietype is er op basis van de vastgestelde gewasfactor de potentiële verdamping berekend (E_{pot}). Deze verdamping is de hoeveelheid water die bij droge vegetatie en optimale watertoevoer verdampt kan worden. Hierbij wordt onderstaande formule gebruikt, waarbij f de gewasfactor is (Spieksma, Dolman, & Schouwenaars, 1997).

$$E_{pot} = f * E_{ref}$$

Makkink heeft voor verschillende gewassen een gewasfactor opgesteld. In tegenstelling tot landbouwgewassen, bestaat een bos of natuurgebied zoals ketelbroek uit verschillende structuren en vegetatietypen. Daarnaast kan de gewasfactor ook verschillen per seizoen.

Omdat er een grote variatie is in vegetatie wordt daarom een verdamping per deelgebied uitgerekend, op basis van de bestaande vegetatiestructuren die geïnventariseerd zijn in hoofdstuk 4. Omdat de gewasfactoren gericht zijn op productiegewassen, zijn er verschillende onderzoeken geraadpleegd en de meest passende gewasfactor genomen.

Rationeel voedselbos

Bij het rationeel voedselbos zijn er verschillende fruitbomen verspreid over het deelgebied. Tussen de bomen groeit met name brandnetel van ongeveer een meter hoog. Voor grootfruit vanaf het 3^e jaar geldt een gewasfactor van 0,8 in het eerste decade van juni en 0,9 in de andere twee decades (Dreven, et al., 2000). Voor de ondergroei wordt de gewasfactor voor grassen hoger dan 25 cm genomen (zie Afbeelding 22). Dit bedraagt in de maand juni 1,2. (Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging, 1996) Omdat er meer oppervlakte bedekt wordt door ondergroei dan door de vruchtbomen, telt de factor voor ondergroei voor 2/3 mee en die van de bomen voor 1/3. Deze factoren worden bewust niet bij elkaar opgeteld, omdat de ondergroei recht onder de bomen minder verdampen door schaduw van de vruchtbomen.

gewas- lengte:	5-15 cm	15-25 cm	> 25 cm
april	0.8 (1.0)	0.85 (1.1)	0.9 (1.2)
mei	0.8 (1.0)	0.85 (1.1)	0.9 (1.2)
juni	0.8 (1.0)	0.85 (1.1)	0.9 (1.2)
juli	0.8 (1.0)	0.85 (1.1)	0.9 (1.1)
aug	0.8 (1.0)	0.85 (1.0)	0.9 (1.1)
sept	0.8 (1.0)	0.85 (1.0)	0.95 (1.1)

Afbeelding 22, Gewasfactoren

Gesloten voedselbos

Het gesloten voedselbos bestaat uit een kruinlaag van onder andere eiken en beuken met daaronder met name schaduw minnende soorten. Op de grens tussen het gesloten en open voedselbos komen ook snelgroeiende soorten als de berk voor. Deze vegetatiestructuur komt het meest overeen met dat van een loofbos, waarvoor een gewasfactor van 1,2 geldt (STOWA, 2011).

Open voedselbos

Het openvoedselbos kent een open structuur, met veel verschillende soorten struweel. Het gebied rond de kantine bestaat vooral uit laag struweel, terwijl richting de randen van het deelgebied hogere struiken aanwezig zijn. Oriënterend onderzoek naar waterbeheer in de natuurtuin Zoetermeer heeft zowel een hoge ($f=1,1$) als een lage schatting ($f=0,8$) gemaakt voor struweel (Kip & Tjallingii, 1989). Echter is dit met de methode van Penman gedaan. Voor juni geldt een verhouding E_0^{MOW}/E_M van 1,31. (Dreven, et al., 2000) Voor het struweel geldt dus volgens Makkink een gewasfactor tussen 0,61 en 0,84. Omdat zowel struweel met veel verdamping als met weinig verdamping aanwezig is, is het gemiddelde genomen van deze schattingen.

Ook groeien er hogere soorten als de amandel, abrikoos, vijg en citroen. Voor de hogere soorten is dezelfde gewasfactor als voor boomteelt gebruikt. Voor de gewasfactor van het open voedselbos is het gemiddelde genomen van de factoren voor struweel en boomgaard.

Notenlaan

In de notenlaan groeien verschillende soorten notenbomen, afgewisseld met robinia en zwarte els. Deze vegetatiestructuur is hoger en dichter begroeid dan het open voedselbos en het rationele voedselbos. Anderzijds is het niet zo hoog als een loofbos, waar een hoge kruinlaag aanwezig is met veel ondergroei. Daarom is het gemiddelde genomen van de boomgaard en een loofbos. Dit komt ongeveer uit op gewasfactor 1.

Open water

Voor de poel kan er uitgegaan worden van een factor 1,3 (Dreven, et al., 2000).

Grasland

De vegetatiestructuur van het naastgelegen perceel is in vergelijking met andere deelgebieden vrij laag. Er is uitgegaan van een gewaslengte van 5-15 cm, waarvoor een gewasfactor geldt van 1,0 (zie Afbeelding 22, Gewasfactoren). Op basis van bovenstaande beschrijving kunnen de volgende tabellen worden gemaakt:

Tabel 17, Gewasfactoren akker

Akker		Week			
Deelgebied	Gebruikte waarde	1	2	3	4
Akker					
Raaigras	Gras 5-15 cm	1	1	1	1

Tabel 18, Gewasfactoren voedselbos

Voedselbos		Week			
Deelgebied	Gebruikte waarde	1	2	3	4
Rationeel voedselbos					
Fruitbomen	Grootfruit v.a. 3 jaar	0,8	0,85	0,9	0,9
Ondergroei	Gras > 25 cm	1,2	1,2	1,2	1,2
Uitgangswaarde		1	1,03	1,05	1,05
Open voedselbos					
Bomen	Grootfruit v.a. 3 jaar	0,8	0,85	0,9	0,9
Struweel	(Hoge + lage schatting)/2	0,76	0,76	0,76	0,76
Uitgangswaarde		0,78	0,79	0,81	0,81
Gesloten voedselbos					
Loofbos	Loofbos	1,2	1,2	1,2	1,2
Notenlaan					
Bomen	(Grootfruit + Loofbos)/2	1	1,03	1,05	1,05
Ondergroei					
Poel					
Water	Open water	1,3	1,3	1,3	1,3

6.6.4 Wegzijing

De maximale waterberging is per deelgebied vastgesteld door de effectieve worteldiepte te koppelen aan de pF-curve (zie paragraaf 6.5.2 Capillaire opstijging). Ten slotte is de hoeveelheid neerslag per dag toegevoegd aan de sheet waardoor er de hoeveelheid water in de waterberging de maximale waterberging overschrijdt. De hoeveelheid die overschrijdt is via wegzijging met het grondwater afgevoerd. De maximale waterberging verschilt per deelgebied, de hoeveelheid wegzijging hierdoor ook. Per deelgebied is de wegzijging van de maand juni 2016 bepaald, waardoor uiteindelijk de hoeveelheid uitstroom via het grondwater van het voedselbos bekend is.

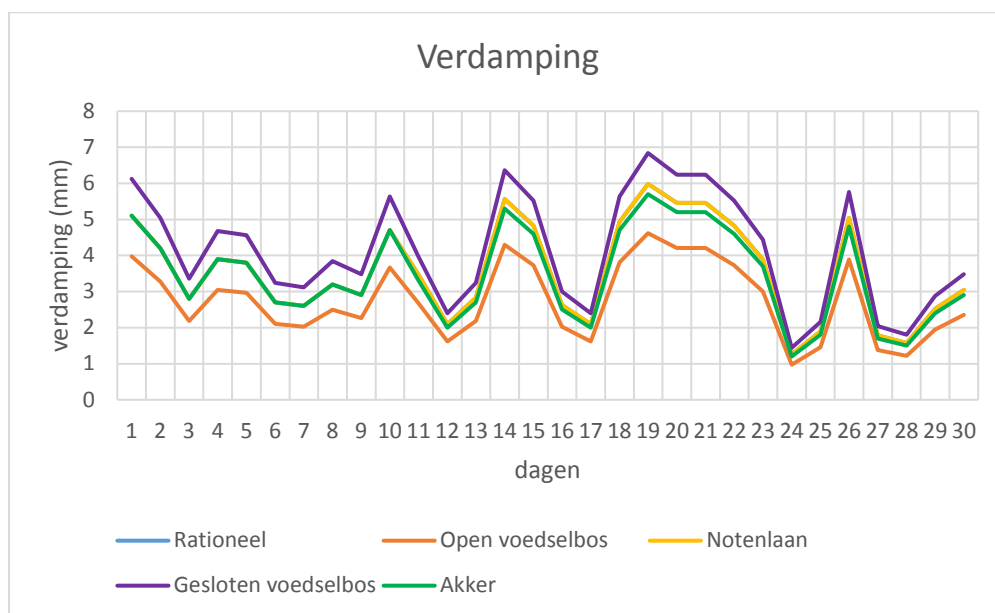
7 Waterbalans vergelijking

In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van de waterbalans van de akker en die van het voedselbos vergeleken. Hierbij wordt ingegaan op verdamping, infiltratie, wegzijging en het vochtgehalte in de bodem door de hele periode heen.

Tussen de waterbalans van de akker en het voedselbos zitten een aantal opmerkelijke verschillen. Ondanks het hoge organisch stofgehalte in de bodem van de akker, heeft de akker de laagste maximale berging. Per deelgebied in het voedselbos verschilt de waterbergingscapaciteit ook, maar de laagste waarde ligt zelfs hoger dan bij de akker (zie bijlage XVI).

7.1 Verdamping

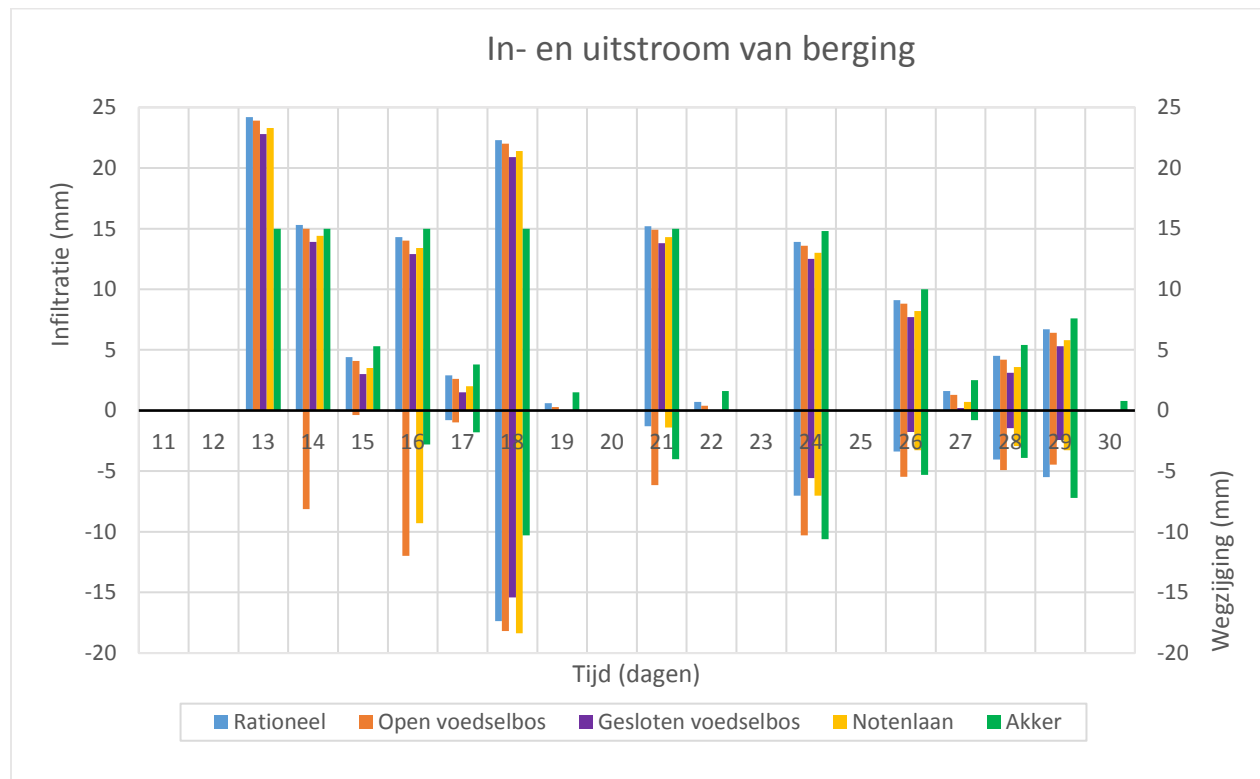
Een belangrijke factor binnen de waterbalans is de verdamping. Onderstaande grafiek geeft de verdamping per dag weer (zie bijlage XVII). Door de hoge gewasfactor van het gesloten voedselbos wordt er in dit deel duidelijk meer verdampt. Het rationele voedselbos, de notenlaan en de akker verdampen de hele maand door ongeveer even veel. Het open voedselbos verdampt duidelijk minder.



Grafiek 1, Verdamping per deelgebied

7.2 Verhouding infiltratie en wegzijging

Wanneer veel water infiltreert, is de kans op wegzijging ook hoger. In onderstaande grafiek zijn de hoeveelheden water naar de berging toe, door infiltratie en uitstroom uit de berging, door wegzijging weergegeven. Hierdoor wordt duidelijk hoeveel er daadwerkelijk in de bodem infiltreert per deelgebied en op welke tijdstippen de verschillende bergingen volraken. Omdat er geen infiltratie en wegzijging plaatsvindt in de eerste tien dagen zijn deze weggelaten. De volledige grafiek is toegevoegd in bijlage XVIII.



Grafiek 2, In- en uitstroom van berging per deelgebied

Opvallend is het open voedselbos, dat op dag 14 -na de eerste piekbuien- al wegzijgt. Ondanks dat het rationele deel een lagere bergingscapaciteit heeft, is de berging van het open voedselbos het eerst vol. Aan de hand van de grafiek in 7.1 (grafiek 1), kan deze wegzijging verklaard worden omdat het open voedselbos relatief weinig verdampt. Hierdoor is de hoeveelheid water dat in de bodem infiltreert ook groter.

Ondanks de lage bergingscapaciteit in het rationele voedselbos, begint dit deelgebied pas op de 16^e weg te zijgen. De lage capillaire toevoer van water in het rationele voedselbos, kan mede de oorzaak zijn dat deze berging minder verzadigd is na de eerste decade.

De akker begint pas tegelijk met de notenlaan weg te zijgen. Dit komt omdat er slechts maximaal 15 mm per dag kan infiltreren in de akker. Vanaf 24 tot 30 juni valt op dat er bij de akker veel water de berging instroomt, maar dat er diezelfde dag ook veel wegzijgt. Dit wijst erop dat de berging vol is en ook zo goed als vol blijft.

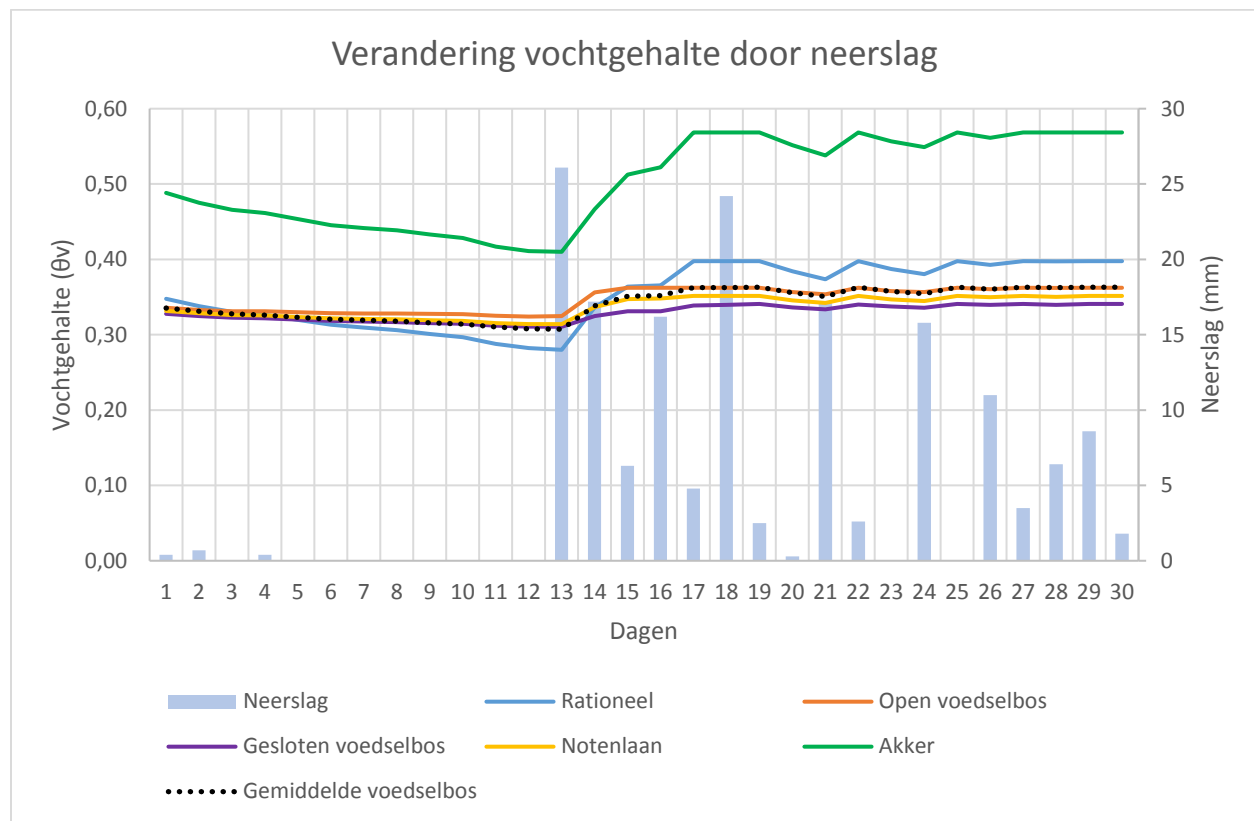
De notenlaan zijgt in de derde decade relatief weinig weg. Dit neemt de vierde decade toe omdat dan de berging vol raakt.

In het gesloten voedselbos duurt het lang voordat het water wegzijgt, als gevolg van het hoge bergingsvermogen en de hoge verdamping. Ook bij de piekbuien in de laatste decade blijft de wegzijging minder dan 50% van de neerslag.

7.3 Verandering vochtgehalte

Het verloop van het vochtgehalte is een belangrijke factor in het waterbergend vermogen. In de eerste periode valt er weinig tot geen neerslag en neemt het vochtgehalte vooral van de akker en van het rationele voedselbos sterk af. Na neerslag reageren deze deelgebieden ook, te zien aan de snelle stijging in onderstaande grafiek. De akker fluctueert daarin iets sterker dan het rationele deel. Het vochtgehalte in de overige deelgebieden fluctueert matig. Het gesloten voedselbos heeft een opvallend stabiel vochtgehalte.

Op basis van deze grafiek is te stellen dat er een verband is tussen de worteldiepte en de mate van fluctuatie van het vochtgehalte. De deelgebieden met de kleinste worteldiepte en de laagste berging fluctueren het sterkst. De notenlaan en het gesloten voedselbos hebben de hoogste worteldiepte en fluctueren ook het minst. De grafiek is uitvergroot weergegeven in bijlage XIX. Als er naar het gemiddelde van het voedselbos wordt gekeken, kan gesteld worden dat het vochtgehalte in de bodem minder gevoelig is voor droogte en neerslag.



Grafiek 3, Verandering vochtgehalte door neerslag

8 Conclusie

Om tot het antwoord van de hoofdvraag te komen zijn onderstaande deelvragen opgesteld. De beantwoording van de deelvragen geven een korte en bondige conclusie van de verschillende onderzochte aspecten in het onderzoek.

1. Wat zijn de kenmerken van een voedselbos en het watersysteem in een voedselbos?

Een voedselbos is een door mensen gecreëerde plantengemeenschap met een hoog aantal eetbare soorten. Hierbij wordt een zo natuurlijk mogelijk ecosysteem nagebootst met verschillende vegetatielagen. Dit systeem is zelfvoorzienend en klimaatbestendig.

2. Wat zijn specifieke kenmerken van het voedselbos in Ketelbroek?

Ketelbroek kenmerkt zich door de verschillende deelgebieden die allemaal een andere structuur hebben. Een deel van de kavel is ingericht als natuurontwikkelingszone, dat ook ter ondersteuning dient van de biodiversiteit en ontwikkeling van het voedselbos zelf. De notenlaan, het gesloten en open voedselbos zijn een jaar eerder aangelegd dan de rest van de deelgebieden. De bodem in het gebied bestaat volledig uit humus en leem en er is ongeveer 1,5 mm per dag kwel aanwezig.

3. Welke componenten worden voor het voedselbos en de akker gebruikt in de waterbalans?

Voor het berekenen van de waterbalans zijn er drie categorieën vastgesteld. Deze categorieën zijn onderverdeeld in de categorieën: instroom, berging en uitstroom. Elke categorie is weer onderverdeeld in componenten. De volgende componenten zijn opgesteld:

Instroom	Berging	Uitstroom
Neerslag	Berging in de bodem	Wateropname van wortels, die invloed hebben op de verdamping
Instroom via grondwater		Verdamping van vocht uit de bodem
Kwelstromen		Verdamping open water
Capillaire opstijging		Uitstroom via grondwater
		Oppervlakkige afstroming
		Interceptie

4. Hoe verschilt de waterhuishouding van het voedselbos van de waterhuishouding van de naastgelegen akker?

In de bodem van het voedselbos is veel veranderd sinds de aanleg van het bos. De worteldiepte is op veel plekken toegenomen, waardoor organisch stof over een grotere diepte aanwezig is. Dit is terug te zien in het grotere waterbergend vermogen.

Doordat de infiltratiecapaciteit in het voedselbos groter is dan de akker, wordt er bij hevige neerslag meer water toegevoegd aan de berging in de bodem. Dit zorgt ervoor dat er in natte perioden het water gaat wegzijgen.

Daarnaast kan er geconcludeerd worden dat het vochtgehalte stabiel is geworden in het voedselbos. Zowel bij aan- als afwezigheid van neerslag verandert het vochtgehalte in de bodem erg weinig. Het jongste deelgebied, het rationele voedselbos, fluctueert wel meer dan de andere deelgebieden. Dit deelgebied lijkt het sterkst op de akker. De akker kent een sterke toe- en afname in het vochtgehalte, wat betekent dat de akker gevoeliger is voor droge en natte perioden dan het voedselbos.

Op basis van het onderzoek kan de hoofdvraag 'Wat zijn kenmerkende componenten in de waterbalans van het voedselbos Ketelbroek?' beantwoord worden.

Kenmerkende componenten zijn:

- De capaciteit in de bodem om water te kunnen bergen. Deze is in alle onderzochte deelgebieden hoger dan dat van de akker. Dit komt doordat de effectieve worteldiepte door de aanwezige vegetatie in het voedselbos groter is dan de effectieve worteldiepte van de akker.
- Een hogere interceptie door de structuur van de vegetatie. Bij neerslag verdampt er in het voedselbos meer vanaf de vegetatie dan bij de akker.
- Een stabiel vochtgehalte in de bodem. Zowel bij droogte als neerslag blijft het vochtgehalte in de bodem van het voedselbos relatief stabiel, terwijl deze in de bodem van de akker sterk fluctueert.

9 Aanbeveling

De waterbalans is opgesteld met de meest nauwkeurige gegevens en aannames die beschikbaar waren. In vervolgonderzoek zal er nauwkeuriger onderzoek uitgevoerd moeten worden om de exacte infiltratiecapaciteit van de gebieden te meten. De resultaten uit het veldwerk, waren niet nauwkeurig genoeg en daardoor niet bruikbaar. Voor de waterbalans zijn de maximale doorlatendheidwaarden geschat op basis van waarnemingen en literatuuronderzoek. Daarnaast waren er, na onder andere contact met Wageningen universiteit en een onderzoeksbureau, geen gewasfactoren beschikbaar voor natuurlijke vegetatietypen. In de waterbalans zijn meerdere vegetatiestructuren samengevoegd en daarbij de meest toepasselijke gewasfactoren aangegeven. Hierbij is er geen rekening gehouden met hoe de verschillende vegetatielagen boven elkaar van invloed zijn op de gewasfactor.

Als er wordt gekeken naar het component interceptie, is er te zien dat de waarden zo nauwkeurig mogelijk geschat zijn op basis van beschikbare informatie. Voor vervolgonderzoek of verbetering van deze waterbalans, is er meer kennis nodig van het onderwerp interceptie per gelaagdheid vegetatie. Interceptie is in een voedselbos een ingewikkeld component. In een voedselbos moet er rekening gehouden worden met de gelaagdheid van de vegetatie. Door te weinig kennis, zijn hier niet de nauwkeurigste waarden aangegeven. Voor het vervolg moet de component beter uitgezocht worden, wellicht door personen met uitgebreidere kennis daarover.

De waarden van kwelwater in het projectgebied zijn niet meegenomen in de waterbalans zelf. Er is vanuit gegaan dat het kwelwater toegevoegd wordt aan het grondwater en geen invloed heeft op de onverzadigde zone. Er zal nader onderzocht moeten worden hoe en hoeveel invloed kwelwater heeft op de onverzadigde zone, om exacte uitspraken te kunnen doen over de aan- en afvoer wat water in de bodem.

De maximale bergingscapaciteit is berekend door de diepte van de effectieve wortelzone te vermenigvuldigen met het vochtgehalte in de bodem bij een pF-2. De maximale berging is dus afhankelijk van een geschatte worteldiepte. Echter zijn er meerdere vegetatielagen per deelgebied aanwezig, dus ook veel verschillende worteldieptes. Om betrouwbaardere uitspraken te kunnen doen over het bergend vermogen van de bodem, zal onderzocht moeten worden hoe de verschillende worteldiepten en vegetatietypen door elkaar van invloed zijn op het waterbergend vermogen en de exacte effectieve worteldiepte.

In het onderzoek is er gerekend met 6,8 mm waterberging per 1% organische stof in de bodem. Deze waarden zijn gebaseerd op de waarden van een zandgrond, aangezien deze bodemsoort meer overeenkomt met leem dan dat klei en leem met elkaar overeenkomen. Voor de grondsoort leem waren er geen directe getallen beschikbaar. Bij vervolgonderzoek zal nader onderzocht moeten worden wat het waterbergend vermogen door organisch stof bij een leemgrond is. Daarnaast is er voor de berekening van de maximale berging geen rekening gehouden met organisch stof onder de wortelzone.

In de waterbalans is er een schatting gemaakt hoeveel water maximaal opgevangen kan worden door de bladeren en wordt ervanuit gegaan dat deze hoeveelheid weer verdampt. In de realiteit is er sprake van een vertragende factor, omdat het water via verschillende vegetatielagen naar beneden sijpelt of via de stam afstroomt. Voor vervolgonderzoek wordt aangeraden om verschillende vertragende factoren te onderzoeken en deze waarden mee te nemen in de waterbalans. Hierdoor kunnen er nauwkeurigere uitspraken gedaan worden over hoeveel water er per tijdseenheid op de grond terechtkomt.

In dit onderzoek is er voedselbos met een akker vergeleken. Het is aan te bevelen om een ander voedselbos te onderzoeken op dezelfde manier en dat voedselbos te vergelijken met een referentiebos. In dit onderzoek was er geen bos in de buurt waaraan het voedselbos gerefereerd kon worden. Uit onderzoek blijkt dat het voedselbos beter water kan bergen dan een akker, maar voor een completer beeld van de waterbalans van een voedselbos wordt aangeraden om meer referentiegebieden te onderzoeken. Om in te spelen op het te kort aan waterbergingsgebieden, is het aan te raden om dit onderzoek voor gewone bossen uit te voeren. Wellicht kan er door simpele beheermethoden, die ook in een voedselbos toegepast worden, een gewoon bos een grotere waterbergingscapaciteit leveren.

Literatuur

- (Alterra), A. E. (2017, juli 4). *Bodemkaart Nederland*. Opgeroepen op juni 2, 2018, van pdok.nl: <http://pdokviewer.pdok.nl/>
- A.G. Jongmans, M. v. (2013). *Landschappen van Nederland*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers.
- Achter de samenleving*. (2016, Mei 30). Opgehaald van Er is inmiddels meer dan 100 hectare voedselbos aangeplant in Nederland!: <http://achterdesamenleving.nl/er-is-inmiddels-100-hectare-voedselbos-aangeplant-nederland/#.WxpjqNUzb-h>
- B. Van Delft, R. D. (2006). *Veldgids Humusvormen - Beschrijving en classificatie van humusprofielen voor ecologische toepassingen*. Wageningen: Alterra.
- Baas, W. R. (2018). *Bodemactiviteit en landgebruik; Biologische activiteit in Groesbeek onder verschillende vormen van landgebruik*. Velp: Van Hall Larenstein.
- BoerenBunder. (2017). *kenmerken*. Opgehaald van www.boerenbunder.nl: <https://boerenbunder.nl/report/51.76805,5.96608>
- Bolt, F. v., Veldhuizen, A., Groenendijk, P., Walsum, P. v., Massop, H., Vries, F. d., . . . Dam, J. v. (2014). *Wortelzone in NHI; Verkennen van de mogelijkheden voor verbeteren van de verdampingsberekeningen*. Wageningen: Alterra Wageningen UR.
- Boon, D. i., Das, A., & Pouwer, i. A. (sd). *Hoge stikstofhiften in een moderne boomgaard*. Wageningen: WUR. Opgehaald van edepot.wur.nl: <http://edepot.wur.nl/211628>
- Bot, B. (2012). *Grondwaterzakboekje*.
- CLM Onderzoek en Advies. (2016). *waarden van bodemwatermaatregelen*. Culemborg: CLM Onderzoek en Advies.
- Dickinson. (1984). *Index of tropical wood*. Opgehaald van [Index of /oow/tropical/textbook_2nd_edition/media/graphics:](http://ftp.comet.ucar.edu/oow/tropical/textbook_2nd_edition/media/graphics/) http://ftp.comet.ucar.edu/oow/tropical/textbook_2nd_edition/media/graphics/?C=N;O=D
- Dreven, F. v., Gugten, R. v., Jong, F. d., Lammeren, R. v., Loedeman, J., Mostert, G., . . . Vergouwen, M. (2000). *Cultuurtechnisch vademecum*. Doetichem: Krips.
- Eijkelkamp. (sd). *Grondboren- en bodembemonsteringsapparatuur*. Opgeroepen op juni 3, 2018, van www.Eijkelkamp.com: <https://www.eijkelkamp.com/producten/grondboren-en-bodembemonstering-apparatuur/grondmonsterringsteeksets-sc.html>
- G.G.L Steur, W. L. (1990). *Veldboekje Bodemkunde*. Den Bosch: Malmberg.
- Gerrits, M. (2018, 6 13). *Na regen komt interceptie*. Opgehaald van www.nhv.nu: https://www.nhv.nu/uploads/fileservice/stromingen/attachment/2009-1_Na%20regen%20komt%20interceptie.pdf
- Green deal voedselbossen de Dommel. (2018). *Koepelplan voedselbossen Deltaplan Hoge zandgronden*.

- Hulst, S. v., & Hoeks, J. (1987). *Effecten van de vuilstortplaats 'Dukenburg' op het natuurreervaat 'De Bruuk' in Groesbeek*. Wageningen: Wageningen Universiteit & Research Centre.
- Jansen, P., Runhaar, J., Witte, J., & Dam, J. v. (2000). *Vochtindicatie van grasvegetaties in relatie tot de vochttoestand*. Wageningen: Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte.
- Kip, d. R., & Tjallingii, d. S. (1989). *Waterbeheer in de natuurtuin zoetermeer*. Delft: BOOM.
- KNMI. (2018). Opgehaald van Maandoverzichten van neerslag en verdamping in Nederland: https://cdn.knmi.nl/knmi/map/page/klimatologie/gegevens/monv/monv_201712.pdf
- KNMI. (2018, juni 6). *Daggegevens van het weer in Nederland*. Opgehaald van www.knmi.nl: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens>
- KNMI. (2018, juni 13). *Doorlopend potentieel neerslagoverschot*. Opgehaald van www.knmi.nl: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/archief-neerslagoverschot>
- Mergenmetz. (2013). Opgehaald van Eetbare Siertuin: <https://www.mergenmetz.nl/tuin/eetbare-siertuin/>
- Ministerie van Landbouw, N. e. (sd). *Habitatitypen Wochtige alluviale bossen*. Opgeroepen op juni 3, 2018, van www.synbiosys.alterra.nl: <https://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=habtypen&groep=9&id=91E0>
- Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging. (1996). *De parameterisatie van de verdamping van natuurterreinen in hydrologische modellen*. Den Haag: Koninklijke Vermande bv.
- Natuur & economie: Voedselbossen. (2018). Opgehaald van Groen ontwikkelingsfonds Brabant: <https://www.groenontwikkelfondsbrabant.nl/inspiratie/natuur-economie-voedselbossen>
- Nudge. (2018). Opgehaald van Werk mee aan een voedselbos: <https://www.nudge.nl/projects/werk-mee-aan-een-voedselbos/>
- P.F.M. Verdonschot, R. L. (2008). *Effecten van grondwatertoevoer op oppervlaktewaterkwaliteit*. Wageningen: Alterra.
- Permacultuur. (2018, Januar 19). Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Permacultuur>
- Provincie Gelderland; Eijkelkamp Soil & Water. (2018, Juni 12). *De Bruuk*. Opgehaald van Grondwater webscada: <http://grondwater.webscada.nl/bruuk/>
- Rivierenland, W. (2017, oktober). *legger wateren*. Opgeroepen op juni 4, 2018, van www.waterschaprivierenland.nl: <https://wsrivierenland.maps.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=9e19526357f44dd98dcc0e743e81300e>
- Roeterd, E. (2017). *Ringinfiltrometer beschrijving VHL*. Velp: Van Hall Larenstein.

- Schrijver, A. d., Kint, V., Geudens, G., & Lust, N. (2001). *Bosomvorming; Noodzaak en praktijk van een effectgerichte maatregel tegen verzuring en vermesting*. Gent: Academia Press.
- Speksma, J., Dolman, A., & Schouwenaars, J. (1997). *De verdamping van natuurterreinen*. Opgehaald van library.wur.nl: <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/10109>
- STOWA. (2011). *Verbetering bepaling actuele verdamping voor het strategisch waterbeheer*. Eindhoven: Van de Garde | Jémé.
- Verhagen, F., Spek, T., Witte, F., Voortman, B., Moors, E., Querner, E., . . . bakel, J. v. (2014). *Begrijpen we het watersysteem?* Opgehaald van edepot.wur.nl: <http://edepot.wur.nl/350613>
- Voedselbos. (2018). Opgehaald van Wat is een voedselbos: <http://voedselbos.com/wat-is-een-voedselbos/>
- Voedselbos Kwekerij Arborealis. (2018). Opgehaald van Wat is een voedselbos?: <https://voedselbos.arborealis.nl/voedselbos/wat-is-een-voedselbos.html>
- Voedselbossen. (sd). Opgehaald van Groen Kennisnet: <https://www.groenkennisnet.nl/nl/groenkennisnet/dossier/dossier-voedselbossen.htm>
- Waterbeleid, C. I. (2012). *Code van goede praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van rioleringsystemen*. Erembodegem.
- Weerstatistieken De Bilt - 2018. (2018, Juni 12). Opgehaald van weerstatistieken: <https://weerstatistieken.nl/de-bilt/2018/mei>
- Wikipedia. (2014, Mei 24). Opgehaald van Waterbalans: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Waterbalans>
- Wikipedia. (2017, December 10). Opgehaald van Waterkringloop: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Waterkringloop>

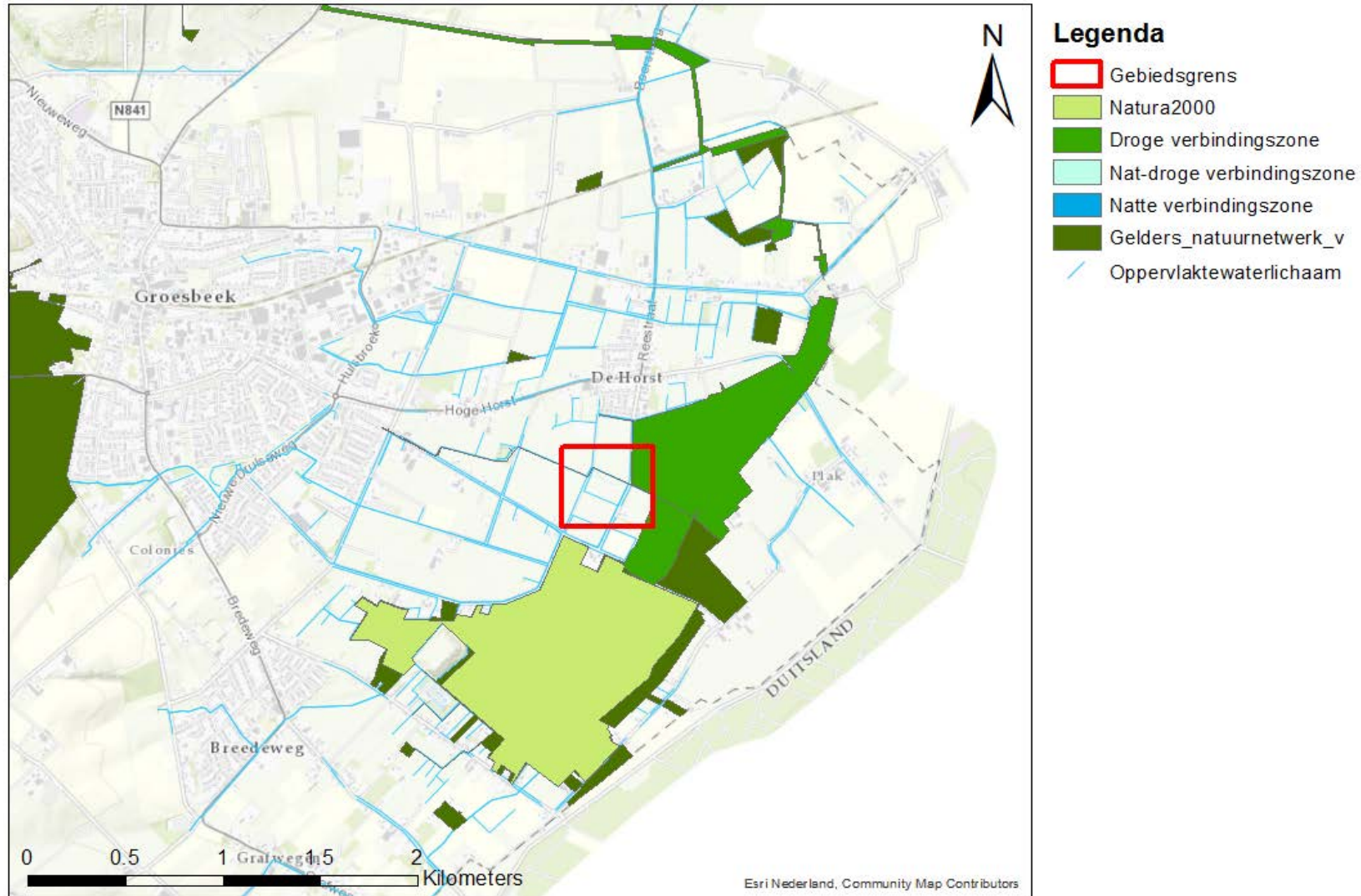
Alle overige afbeeldingen eigen werk

Bijlagen

Bijlage I: Projectgebied



Water en natuur in de projectomgeving

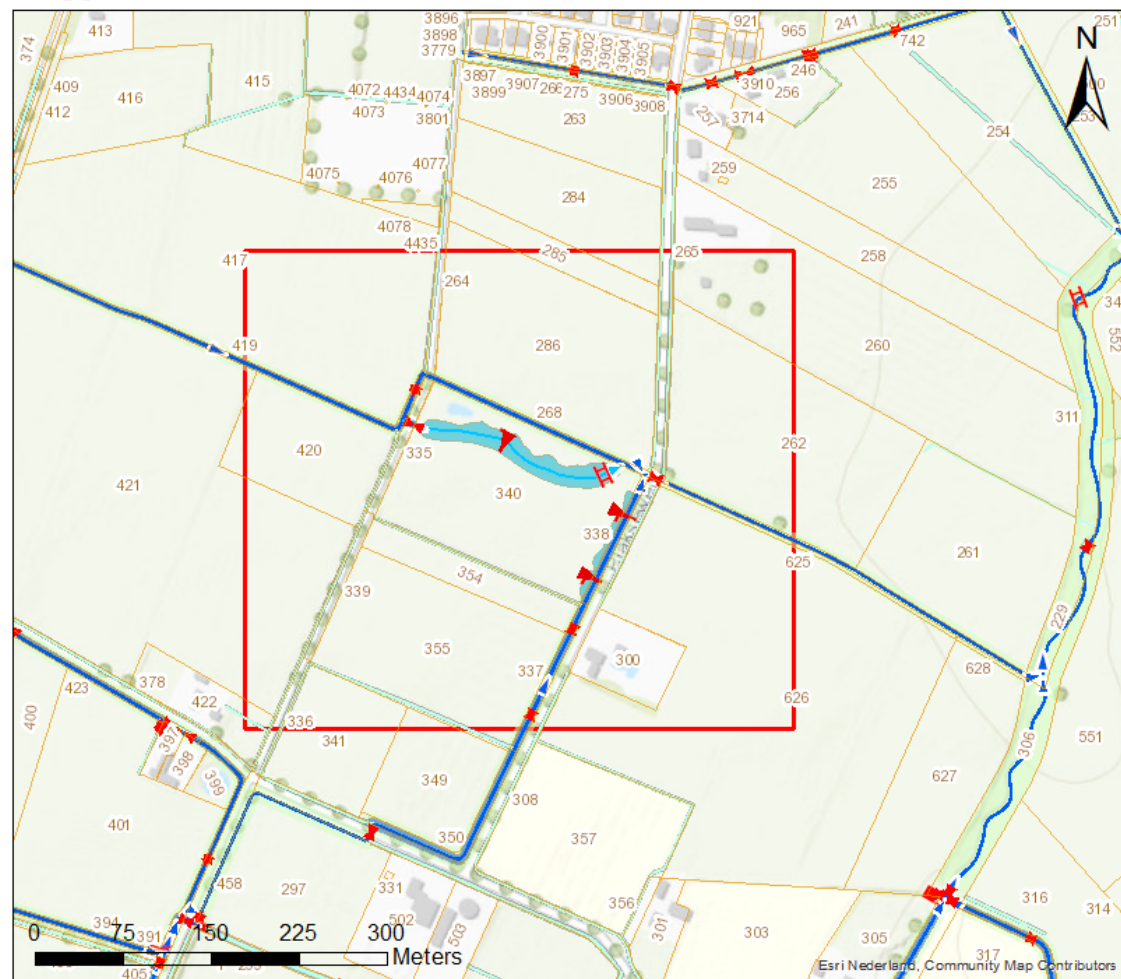


Indeling deelgebieden Ketelbroek



Bijlage IV: Leggerkaart

Leggerkaart



Legenda

- Gebiedsgrens
- Kadastrale percelen
- ▶ A
- ▶ Agedeeld onderhoud
- ▶ B
- ▶ B-berm
- ▶ C
- Beschermingszones
- Bodemvallen
- H Bruggen
- X Duikers
- + Gemalen
- O Putten
- I Sluizen
-) Stuwen
- Sifons
- I Vaste dammen
- ~ Vispassages

Bijlage V: Methode en resultaten waterkwaliteitsonderzoek

Oppervlaktewateronderzoek met van Wirdum methode

De herkomst van het oppervlaktewater wordt bepaald met behulp van de driehoek van Van Wirdum. Met de driehoek van Van Wirdum wordt bepaald of het oppervlaktewater atmosferisch (regenwater), lithosferisch (grondwater) of thallosferisch (zee-achtig water) is. Om de Van Wirdum driehoek te kunnen bepalen, wordt het Calcium-, en Chloridegehalte van het water gemeten en de EGV-waarde. Met behulp van deze gegevens kan de Ionen Ratio en de log van de EGV-waarde worden berekend en hiermee kan uitspraak gedaan worden over de herkomst van het oppervlaktewater.

Bepalen:

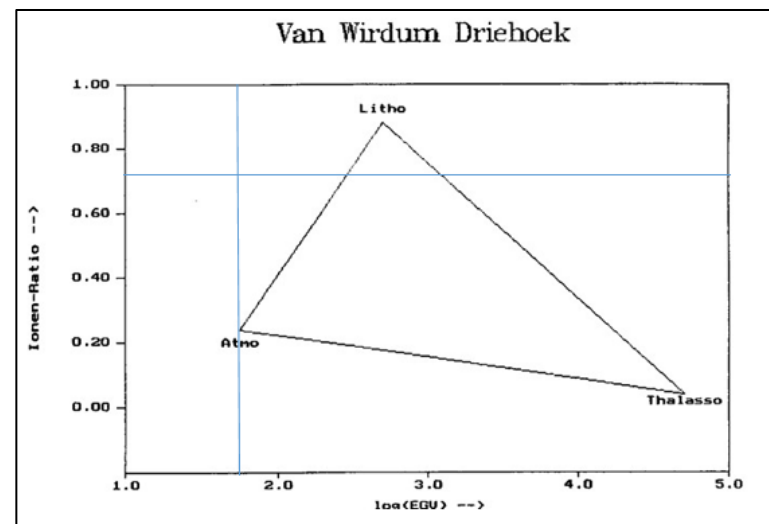
1. Ca^{2+} -ionen in mmol/l (testzetje)
2. Cl^- -ionen in mmol/l (testzetje)
3. EGV (elektriciteitsvermogen) in S/cm
 - Druk op de EGV meter alleen op de aan knop.
 - Vul de waarde in op het invulformulier
 - Bereken de Ionen Ratio (IR)
 - Bereken de log EGV
4. Zet de waarden uit in de driehoek van Van Wirdum en doe een uitspraak over de herkomst van het water.

Invulschema resultaten chloride, calcium en EGV-meting

Locatie	Mg Ca^{2+} / l	mmol Ca^{2+} /l *	mg Cl^- /l	mmol Cl^- /l *	EGV $\mu\text{S}/\text{cm}$	Log (EGV)	IR
Poel	14	0.349	10	0.282	51	1.708	0.713

* mmol Ca^{2+} = mg Ca^{2+} / 40,1

* mmol Cl^- = mg Cl^- / 35,5



Bijlage VI: Bepalingen bodem

GRONDBORINGEN vlgns NEN 5104

Veldwerkformulier Boorstaat



Projectcode	LWM2P4
Projectleider	Peter Groenhuizen
Boorploeg	1 Derike Velthuis 2 Wessel Zondergeld 3 4

Locatie	Rijenteelt
Coördinaten X:	Y:
maaveld-hoogte	cm NAP
hoogte bovenkant buis	cm NAP

Boring nr	2
Datum	30-5-2018
Plaatsing peilbuis	N ☐ J

TRAJECT	TEXTUUR				ZINTUIGLIJKE WAARNEMINGEN			
(1) cm -mv	(2) grondsoortcode	(3) Mz / Mg	(4) % lu	(5) % o.s.	(6) geur	(7) mat e	(8) kleur	(9) bijzonderheden
0-50	Zs2						Licht bruin	Uitspoeling in onderste 10 cm
50-90	Lz3						Donker bruin	
90-110	Lz1						Donkergrijs / lichtgrijs	

(10) Monsternummer	B2 0-50	B2 50-90	B2 90-110					
(11) Traject	0-50	50-90	90-110					
(12) Monsterapparatuur	Edelman							

Projectcode	LWM2P4
Projectleider	Peter Groenhuizen
Boorploeg	1 Derike Velthuis 2 Wessel Zondergeld 3 4

Locatie	Open voedselbos sinds 2009	
Coördinaten	X:	Y:
maaiveld-hoogte	cm NAP	
hoogte bovenkant buis	cm NAP	

Boring nr	3
Datum	30-5-2018
Plaatsing peilbuis	☒ N ☐ J

TRAJECT	TEXTUUR				ZINTUIGLIJKE WAARNEMINGEN			
(1) cm -mv	(2) grondsoortcode	(3) Mz / Mg	(4) % lu	(5) % o.s.	(6) geur	(7) mat e	(8) kleur	(9) bijzonderheden
0-35	Lz3h2						Donker bruin	Kleine hoeveelheid roestvlekken
35-60	Lz1g1						Grijs	Roest vlekken
60-110	Z						grijs	Enkele steentjes in het profiel

(10) Monsternummer	B3 0-35	B3 35-60	B3 60-110					
(11) Traject	0-35	35-60	60-110					
(12) Monsterapparatuur	edelman							

Projectcode	LWM2P4
Projectleider	Peter Groenhuizen
Boorploeg	1 Derike Velthuis 2 Wessel Zondergeld 3 4

Locatie	Dicht voedselbos sinds 2009	
Coördinaten	X:	Y:
maaiveld-hoogte	cm NAP	
hoogte bovenkant buis	cm NAP	

Boring nr	4
Datum	30-5-2018
Plaatsing peilbuis	N ☐ J

TRAJECT	TEXTUUR				ZINTUIGLIJKE WAARNEMINGEN			
(1) cm -mv	(2) grondsoortcode	(3) Mz / Mg	(4) % lu	(5) % o.s.	(6) geur	(7) mat e	(8) kleur	(9) bijzonderheden
0-35	Zs1						Donker bruin	
35-55	Zs3						Oranje / bruin	Uitspoeling
55-80	Zs1						Donker oranje	Inspoeling
80-100	Zg2						Grijs	Roest inspoeling
100-110	Z						grijs	Grof zand

(10) Monsternummer	B4 0-35	B4 35-55	B4 55-80	B4 80-100	B4 100-110			
(11) Traject	0-35	35-55	55-80	80-100	100-110			
(12) Monsterapparatuur	edelman							

Projectcode	LWM2P4	Locatie	Akker van boer	Boring nr	6
Projectleider	Peter Groenhuizen	Coördinaten X:	Y:	Datum	30-5-2018
Boorploeg	1 Dérique Velthuis	maaiveld-hoogte	cm NAP	Plaatsing peilbuis	☐ N ☐ J (formulier plaatsing peilbuizen invullen)
	2 Wessel Zondergeld				
	3				
	4	hoogte bovenkant buis	cm NAP		

[illegible][illegible]

Bijlage VII: Uitwerking Organisch stofgehalte

gloeï ronde	kroes nr	gewicht	gewicht gevuld	Boring nr	laag	nr bakje	gewicht na oven	organisch stofgehalte	gewicht grond	OS gehalte	waterberging mm	extra waterberging
2	123	11,5072	21,51	2	0-50	144	21,0094	0,5006	10,0028	5,0%	34,03	30,63
2	121	11,722	21,716	2	0-50	144	21,217	0,499	9,994	5,0%	33,95	30,55
2	128	11,3616	21,3944	2	0-50	144	20,8737	0,5207	10,0328	5,2%	35,29	31,89
1	50	18,5197	28,5134	2	50-90	105	28,022	0,4914	9,9937	4,9%	33,44	30,04
1	52	15,2262	25,2257	2	50-90	105	24,7361	0,4896	9,9995	4,9%	33,29	29,89
1	56	14,8638	24,8619	2	50-90	105	24,372	0,4899	9,9981	4,9%	33,32	29,92
2	127	10,9627	20,9754	2	90-110	171	20,4199	0,5555	10,0127	5,5%	37,73	34,33
2	54	15,0991	25,0921	2	90-110	171	24,547	0,5451	9,993	5,5%	37,09	33,69
2	100	18,2077	28,2782	2	90-110	171	27,7379	0,5403	10,0705	5,4%	36,48	33,08
1	73	17,7905	27,7989	3	0-35	102	27,2753	0,5236	10,0084	5,2%	19,24	15,84
1	70	16,8203	26,8291	3	0-35	102	26,3154	0,5137	10,0088	5,1%	19,28	15,88
1	92	16,1887	26,187	3	0-35	102	25,6683	0,5187	9,9983	5,2%	18,84	15,44
2	7	16,2301	26,2346	3	35-60	17	26,1189	0,1157	10,0045	1,2%	7,86	4,46
2	60	15,297	25,2945	3	35-60	17	25,1605	0,134	9,9975	1,3%	9,11	5,71
2	101	18,1135	28,116	3	35-60	17	28	0,116	10,0025	1,2%	7,89	4,49
1	80	18,3896	28,3772	3	60-110	185	28,1063	0,2709	9,9876	2,7%	18,44	15,04
1	7	16,2264	26,2036	3	60-110	185	25,9211	0,2825	9,9772	2,8%	19,25	15,85
1	65	16,9993	26,9964	3	60-110	185	26,7264	0,27	9,9971	2,7%	18,37	14,97
1	61	17,1804	27,179	3	60-110	185	26,8961	0,2829	9,9986	2,8%	19,24	15,84
1	60	15,3001	25,3001	3	60-110	185	25,0165	0,2836	10	2,8%	19,28	15,88
1	1119	20,2988	30,2842	3	60-110	185	30,0075	0,2767	9,9854	2,8%	18,84	15,44
2	25	17,6597	27,7493	4	0-30	8	27,2343	0,515	10,0896	5,1%	34,71	31,31
2	56	14,865	24,5547	4	0-30	8	24,0557	0,499	9,6897	5,1%	35,02	31,62
2	52	15,2286	25,2224	4	0-30	8	24,7159	0,5065	9,9938	5,1%	34,46	31,06
1	62	17,3026	27,3015	4	100-110	128	27,2565	0,045	9,9989	0,5%	4,07	0,67
1	96	15,9699	25,9691	4	100-110	128	25,9233	0,0458	9,9992	0,5%	3,50	0,10
1	59	15,3178	25,3155	4	100-110	128	25,2599	0,0556	9,9977	0,6%	9,35	5,95
2	59	15,3146	25,3197	4	30-55	29	24,9325	0,3872	10,0051	3,9%	26,32	22,92
2	50	18,5143	28,6083	4	30-55	29	28,2217	0,3866	10,094	3,8%	26,04	22,64
2	74	18,4528	28,4476	4	30-55	29	28,0597	0,3879	9,9948	3,9%	26,39	22,99
1	326	15,2469	25,2436	4	55-80	43	25,0406	0,203	9,9967	2,0%	13,81	10,41
1	74	18,4553	28,4429	4	55-80	43	28,2502	0,1927	9,9876	1,9%	13,12	9,72
1	25	17,6609	26,6682	4	55-80	43	26,5002	0,168	9,0073	1,9%	12,68	9,28
1	84	17,8797	27,7867	4	80-100	21	27,6442	0,1425	9,907	1,4%	9,78	6,38
1	100	18,2101	28,227	4	80-100	21	28,0643	0,1627	10,0169	1,6%	11,04	7,64
1	101	18,1147	28,1229	4	80-100	21	27,9863	0,1366	10,0082	1,4%	9,28	5,88
1	115	19,138	29,1287 akker	0-30		137	28,1698	0,9589	9,9907	9,6%	65,27	61,87
1	71	17,8554	27,855 akker	0-30		137	26,8996	0,9554	9,9996	9,6%	64,97	61,57
1	54	15,0996	25,0996 akker	0-30		137	24,1298	0,9698	10	9,7%	65,95	62,55
2	115	19,1318	29,1401 akker	30-50		150	28,7364	0,4037	10,0083	4,0%	27,43	24,03
2	61	17,1457	27,4438 akker	30-50		150	26,75	0,6938	10,2981	6,7%	45,81	42,41
2	96	15,9677	25,9502 akker	30-50		150	25,5561	0,3941	9,9825	3,9%	26,85	23,45
2	80	18,3896	28,3913 akker	50-80		47	28,1644	0,2269	10,0017	2,3%	15,43	12,03
2	326	15,2456	25,252 akker	50-80		47	25,0255	0,2265	10,0064	2,3%	15,39	11,99
2	1119	20,2957	30,2992 akker	50-80		47	30,0661	0,2331	10,0035	2,3%	15,85	12,45
1	103	17,5577	27,5526 akker	80-110		86	27,4928	0,0598	9,9949	0,6%	4,07	0,67
1	1111	22,2662	32,263 akker	80-110		86	32,2115	0,0515	9,9968	0,5%	3,50	0,10
1	1118	22,0243	32,0275 akker	80-110		86	31,89	0,1375	10,0032	1,4%	9,35	5,95

deelgebied	laag	os %	mm waterberging	mm waterberging - 0,5%
Rationeel voedselbos	0-50	5,1%	34,5	31,05
	50-90	4,9%	33,3	29,92
	90-110	5,5%	37,2	33,77
open voedselbos	0-35	5,2%	35,1	31,73
	35-60	1,2%	8,4	4,99
	60-110	2,8%	18,8	15,41
gesloten voedselbos	0-30	5,1%	34,7	31,28
	30-55	3,8%	26,1	22,67
	55-80	1,9%	13,1	9,75
	80-100	1,5%	10,0	6,57
	100-110	0,5%	3,6	0,23
akker	0-30	9,6%	65,5	62,11
	30-50	4,9%	33,1	29,69
	50-80	2,3%	15,6	12,24
	80-110	0,8%	5,7	2,27

Bijlage VIII: Methode ringinfiltrometer

Bijlage Ringinfiltrometer

Practicum Ringinfiltrometer

Met de Ringinfiltrometer wordt de infiltratiecapaciteit van de bodem bepaald. Hierbij wordt aangeduid hoeveel water (mm) in een bepaalde tijd (uur) in de bodem kan infiltreren. De dubbele ringinfiltrometer wordt uitgevoerd met twee metalen ringen van verschillende grootte. Beide ringen worden in de grond gedreven en tot eenzelfde niveau gevuld met water. In de binnenste ring wordt gemeten met welke snelheid het water in de bodem wegzakt. De buitenste ring dient als buffer om wegstroming van het water uit de binnenste ring tegen te gaan.

Factoren die de infiltratiecapaciteit kunnen beïnvloeden:

- Vochtgehalte in de onverzadigde bodem
- Textuur en samenstelling van de grond (korrelgrootte (verdeling), organische stof en poriegrootte)
- Structuur van de bodem
- Vegetatie
- Dikte van de inundatie laag

Werkwijze:

1. Drijf de binnenste ring (kleine) 0,05-0,10 gelijkmatig en voorzichtig verticaal in de grond. Gebruik een waterpas om te kijken of de ring vlak staat.
2. Drijf de buitenste ring op dezelfde manier als de binnenste ring in de grond. Ga door tot de ringen op eenzelfde hoogte zitten. Let op dat de afstand tussen de binnenste en de buitenste ring gelijkmatig blijft.
3. Markeer in de binnenste en buitenste ring het te gebruiken waterniveau
4. Vul de buitenste ring met water en vul direct daarna de binnenste ring, totdat het op eenzelfde hoogte zit. Doe dit snel, om laterale stroming te voorkomen.

Voorkom ook uitspoelen van losse grond.

5. Houdt met de stopwatch bij de tijd waarop de meting begint en meet het waterniveau in de binnenste ring in mm. Noteer dit op het uitwerkformulier.
6. Meet na een constante tijd (30 sec of 1 min) het waterniveau.
7. Meet de infiltratiecapaciteit op verschillende tijdsintervallen. Dit is afhankelijk van de snelheid waarmee het water infiltreert. (1-2 min tot 10-30 min)
8. Verricht zoveel metingen totdat het niveauverschil per tijdsinterval over 3 metingen gelijk is.
9. Voorkom dat de ringen droogvallen. Vul dan bij tot het oorspronkelijke niveau.

Bijlage IX: Metingen infiltratieproef m.b.v. RINGINFILTROMETERINFILTRATIECAPACITEIT m.b.v. RINGINFILTROMETER - opnameformulier (**zonder bijvullen/ incidenteel bijvullen**)**Locatie:** Weiland meting 1**Naam:** Wiesje Schimmel / Lily Siepel**Grondsoort:** Zand/ löss**Vegetatie:** Gras**Datum:** 30-5-2018

A		B	C	D		E	F		G
tijdaflezing		tijdsinterval	cumulatieve tijd (bepaal uit A of B)	waterniveau aflezing na tijdsinterval	aflezing na vullen	infiltratie (bepaal uit D)	infiltratiesnelheid (bereken E/B)		cumulatieve infiltratie (bepaal uit E)
<i>u</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm/min</i>	<i>mm/uur</i>	<i>mm</i>
15	40	0	start = 0		150	---	---	---	start = 0
15	40	0,5	0,5	149	149	1	2	120	1
15	41	0,5	1	147	147	2	4	240	3
15	41	0,5	1,5	147	147	0	0	0	0
15	42	0,5	2	146	146	1	1	60	4
15	43	1	3	145	144	1	1	60	5
15	44	1	4	143	143	1	1	60	6
15	45	1	5	141		2	2	120	8

94 mm infiltratie per uur.

Ringen staan 3 cm in de grond. Binnenring wordt gevuld tot 15 cm en de buitenring tot 17 cm.

INFILTRATIECAPACITEIT m.b.v. RINGINFILTROMETER - opnameformulier (zonder bijvullen / incidenteel bijvullen)

Locatie: Weiland meting 2

Naam: Wiesje Schimmel / Lily Siepel

Grondsoort: Zand/löss

Vegetatie: Gras

Datum: 30-5-2018

A		B	C	D		E	F		G
tijdaflezing		tijdsinterval	cumulatieve tijd (bepaal uit A of B)	waterniveau aflezing na tijdsinterval	aflezing na vullen	infiltratie (bepaal uit D)	infiltratiesnelheid (bereken E/B)		cumulatieve infiltratie (bepaal uit E)
<i>u</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>min.</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm/min</i>	<i>mm/uur</i>	<i>mm</i>
15	20	0	start = 0		169	---	---	---	start = 0
15	20	0,5	0,5	169	169	0	0	0	0
15	21	0,5	1	168	168	1	1	60	1
15	22	1	2	166	166	2	2	120	3
15	23	1	3	166	166	0	0	0	3
15	24	1	4	166	166	0	0	0	3
15	25	1	5	165	165	1	1	60	4
15	26	1	6	165	165	0	0	0	4
15	27	1	7	164		1	1	60	5

Dus $(0+60+120+0+0+60+0+60)/8 = 37,5$ mm infiltratie per uur.

Ringen staan 1 cm in de grond. Binnenring wordt gevuld tot 16,9 cm en de buitenring tot 19 cm.

Bijlage X: Waterbalans Ketelbroek

maand juni 2016	Deelgebieden		Rationeel			open			gesloten			Notenlaan		
		Decade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Neerslag	mm/decade	Som	1,5	97,6	66,8	1,5	97,6	66,8	1,5	97,6	66,8	1,5	97,6	66,8
Interceptie	mm/decade	Som	1,5	13,6	15,1	1,5	15,7	17,2	1,5	22,6	24,2	1,5	19,6	21,2
Infiltratie bodem	mm/decade	Som	0	84	51,7	0	81,9	49,6	0	75	42,6	0	78	45,6
qc capilaire opstijging	mm/decade	Gem	1,2	0,84	0,87	2	1	1	2	1,8	1,2	2	1,6	1
Opp afstroming/plasvorming	mm/decade	Som	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grondwaterstand	cm-mv	Gem	219,2	219,8	217,7	164,2	164,8	162,7	189,2	189,8	187,7	209,2	209,8	207,7
Waterberging bodem begin	mm/decade	Som	139,05	139,7	156,8	247,5	262,3	270,2	480,0	491,5	508,4	323,6	337,6	349,1
Waterberging bodem eind	mm/decade	Som	115,15	143,1	157,6	246,7	264,5	270,6	477,6	494,7	509,1	322,0	340,2	349,8
Verdamping	Ea	Som	35,9	39,9	31,3	28,0	30,8	24,1	43,1	45,6	35,8	35,9	39,9	31,3
Wegzijing	mm/decade	Som	0,0	18,2	21,2	0,0	39,6	31,3	0,0	15,4	11,2	0,0	27,6	17,9

Bijlage XI: Waterbalans Rationeel voedselbos

Rationeel voedselbos																																		
maand	juni	dagen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	som	
N	mm/dag		0,4	0,7	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	26,1	17,2	6,3	16,2	4,8	24,2	2,5	0,3	17,1	2,6	0	15,8	0	11	3,5	6,4	8,6	1,8	165,9	
Opvang bladeren	mm		0,4	0,7	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	0,3	1,9	1,9	0	1,9	0	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8		
Infiltratie bodem	mm		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24,2	15,3	4,4	14,3	2,9	22,3	0,6	0	15,2	0,7	0	13,9	0	9,1	1,6	4,5	6,7	0	135,7	
Opp afstroming/plasvorming	mm		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
E0	mm/dag		5,1	4,2	2,8	3,9	3,8	2,7	2,6	3,2	2,9	4,7	3,3	2	2,7	5,3	4,6	2,5	2	4,7	5,7	5,2	5,2	4,6	3,7	1,2	1,8	4,8	1,7	1,5	2,4	2,9		
f			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05		
Ep (f*E0)	mm/dag		5,1	4,2	2,8	3,9	3,8	2,7	2,6	3,2	2,9	4,7	3,47	2,1	2,84	5,57	4,83	2,63	2,1	4,94	5,99	5,46	5,46	4,83	3,89	1,26	1,89	5,04	1,79	1,58	2,52	3,05	107,1	Ep
Grondwaterstand	cm-mv		219	219,1	219,1	219,2	219,2	219,3	219,3	219,4	219,4	219,5	219,5	219,6	219,6	219,7	219,7	219,8	219,8	219,9	219,9	219,9	219,5	219,1	218,7	218,3	217,9	217,5	217,1	216,7	216,3	215,9		
Stijgafstand	cm		179	179,1	179,1	179,2	179,2	179,3	179,3	179,4	179,4	179,5	179,5	179,6	179,6	179,7	179,7	179,8	179,8	179,9	179,95	179,95	179,55	179,15	178,75	178,35	177,95	177,55	177,15	176,75	176,35	175,95		
qc	mm/dag		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0	0	0	1,2	1,2	0	1,2	1,2	0	1,2	0	1,3	1,3	1,3		
Kwel	mm/dag		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5		
Berekening	mm/dag																																	
Waterberging begin	mm/dag	begin	139,05	135,15	132,15	130,55	127,85	125,25	123,75	122,35	120,35	118,65	115,15	112,89	111,99	134,55	145,49	146,26	159,05	159,05	159,05	153,67	149,41	159,05	154,92	152,24	159,05	157,16	159,05	158,87	159,05	159,05		
Vochtgehalte	θv		0,35	0,34	0,33	0,33	0,32	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,29	0,28	0,28	0,34	0,36	0,37	0,40	0,40	0,40	0,38	0,37	0,40	0,39	0,38	0,40	0,39	0,40	0,40	0,40	0,40		

Bijlage XIII: Waterbalans Gesloten voedselbos

[illegible]

Bijlage XIV: Waterbalans Notenlaan

Notenlaan																																		
maand	juni	dagen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	som	
N	mm/dag		0,4	0,7	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	26,1	17,2	6,3	16,2	4,8	24,2	2,5	0,3	17,1	2,6	0	15,8	0	11	3,5	6,4	8,6	1,8	165,9	
Opvang bladeren			0,4	0,7	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,5	0,3	2,8	2,6	0	2,8	0	2,8	2,8	2,8	2,8	1,8		
Infiltratie bodem			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23,3	14,4	3,5	13,4	2	21,4	0	0	14,3	0	0	13	0	8,2	0,7	3,6	5,8	0	123,6	
Opp afstroming/plasvorming			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
E0	mm/dag		5,1	4,2	2,8	3,9	3,8	2,7	2,6	3,2	2,9	4,7	3,3	2	2,7	5,3	4,6	2,5	2	4,7	5,7	5,2	5,2	4,6	3,7	1,2	1,8	4,8	1,7	1,5	2,4	2,9		
f			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05		
Ep (f*E0)	mm/dag		5,1	4,2	2,8	3,9	3,8	2,7	2,6	3,2	2,9	4,7	3,465	2,1	2,835	5,565	4,83	2,625	2,1	4,935	5,985	5,46	5,46	4,83	3,885	1,26	1,89	5,04	1,785	1,575	2,52	3,045	107,1	Ep
Grondwaterstand	cm-mv		209	209,1	209,1	209,2	209,2	209,3	209,3	209,4	209,4	209,5	209,5	209,6	209,6	209,7	209,7	209,8	209,8	209,9	209,9	209,9	209,5	209,1	208,7	208,3	207,9	207,5	207,1	206,7	206,3	205,9		
Stijgafstand	cm		109	109,1	109,1	109,2	109,2	109,3	109,3	109,4	109,4	109,5	109,5	109,6	109,6	109,7	109,7	109,8	109,8	109,9	109,95	109,95	109,55	109,15	108,75	108,35	107,95	107,55	107,15	106,75	106,35	105,95		
qc	mm/dag		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	0	2	2	0	2	2	0	2	0	2	0	0		
Kwel	mm/dag		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5		
Berekening	mm/dag																																	
Waterberging begin	mm/dag	begin	331,51	328,41	326,21	325,41	323,51	321,71	321,01	320,41	319,21	318,31	315,61	314,15	314,05	336,51	347,35	348,02	351,51	351,41	351,51	345,53	342,07	351,51	346,68	344,8	351,51	349,62	351,51	350,43	351,51	351,51		
Vochtgehalte	θv		0,33	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,34	0,35	0,35	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35		
Reductiecoëfficiënt	C3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Verdamping actueel	Ea	mm/dag	5,1	4,2	2,8	3,9	3,8	2,7	2,6	3,2	2,9	4,7	3,465	2,1	2,835	5,565	4,83	2,625	2,1	4,935	5,985	5,46	5,46	4,83	3,885	1,26	1,89	5,04	1,785	1,575	2,52	3,045	107,1	Ea
Waterbeging WZ	S mm	eind	328,41	326,21	325,41	323,51	321,71	321,01	320,41	319,21	318,31	315,61	314,15	314,05	336,51	347,35	348,02	351,51	351,41	351,51	345,53	342,07	351,51	346,68	344,8	351,51	349,62	351,51	350,43	351,51	351,51	348,47		
Inzijing	mm/dag		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,28	0	18,365	0	0	1,395	0	0	7,025	0	3,27	0	2,94	3,28	0	45,6	inzijing
eff worteldiepte	Deff (mm)	1000																																
waterberging in WZ GS	S max (mm)	320																																
waterberging door OS	mm	31,51																																
waterberging totaal	mm	351,51																																
Max infiltratie	mm/dag	50																																
pF-curve	θv		32	18	9																													
	pF		2	3	4,2																													
coëff vd vochtvoorziening C3		pF	4,2	3																														
		Vochtgeha	9	18																														
		C3	0	1																														

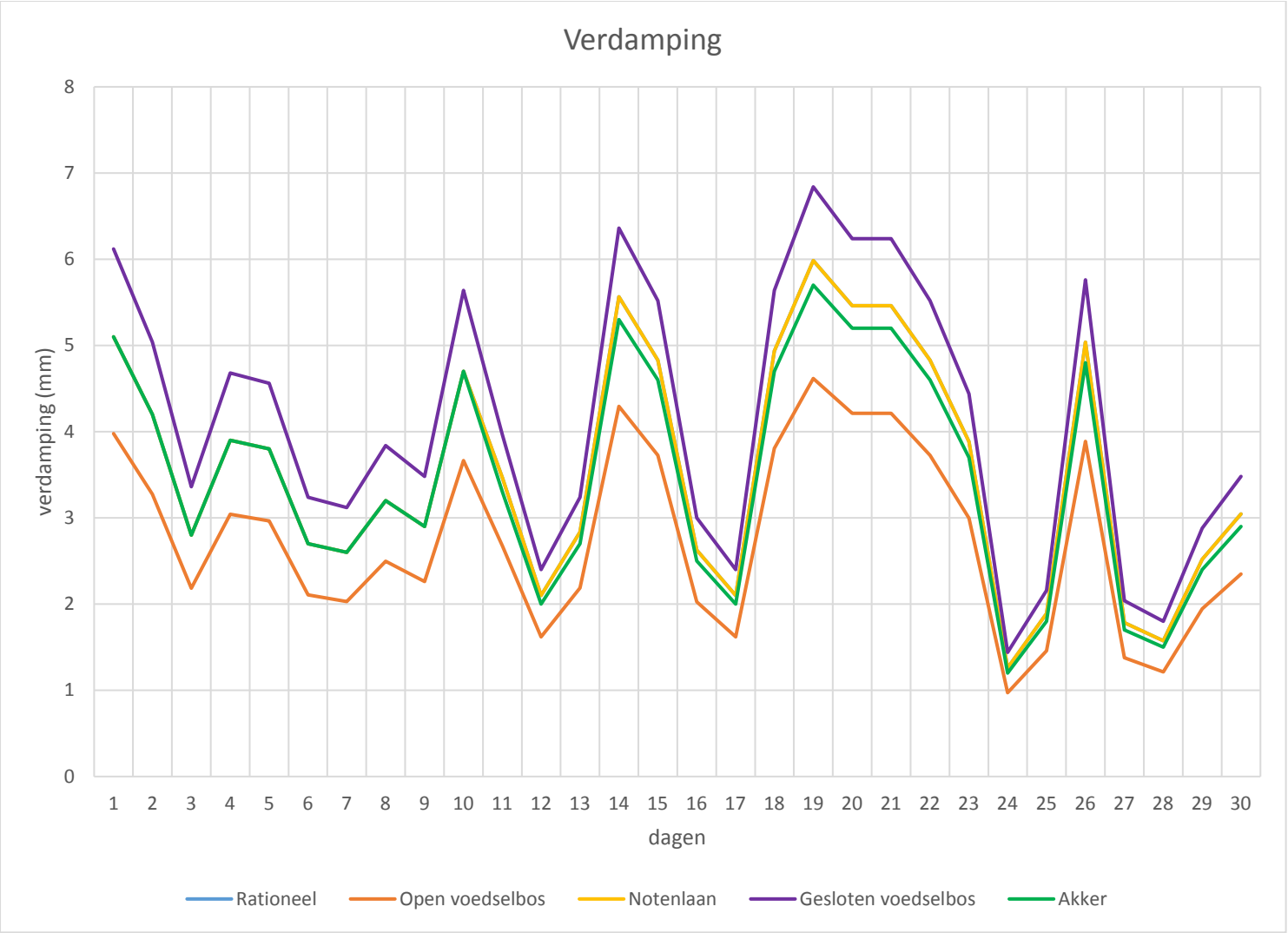
Bijlage XV: Waterbalans akker

[illegible]

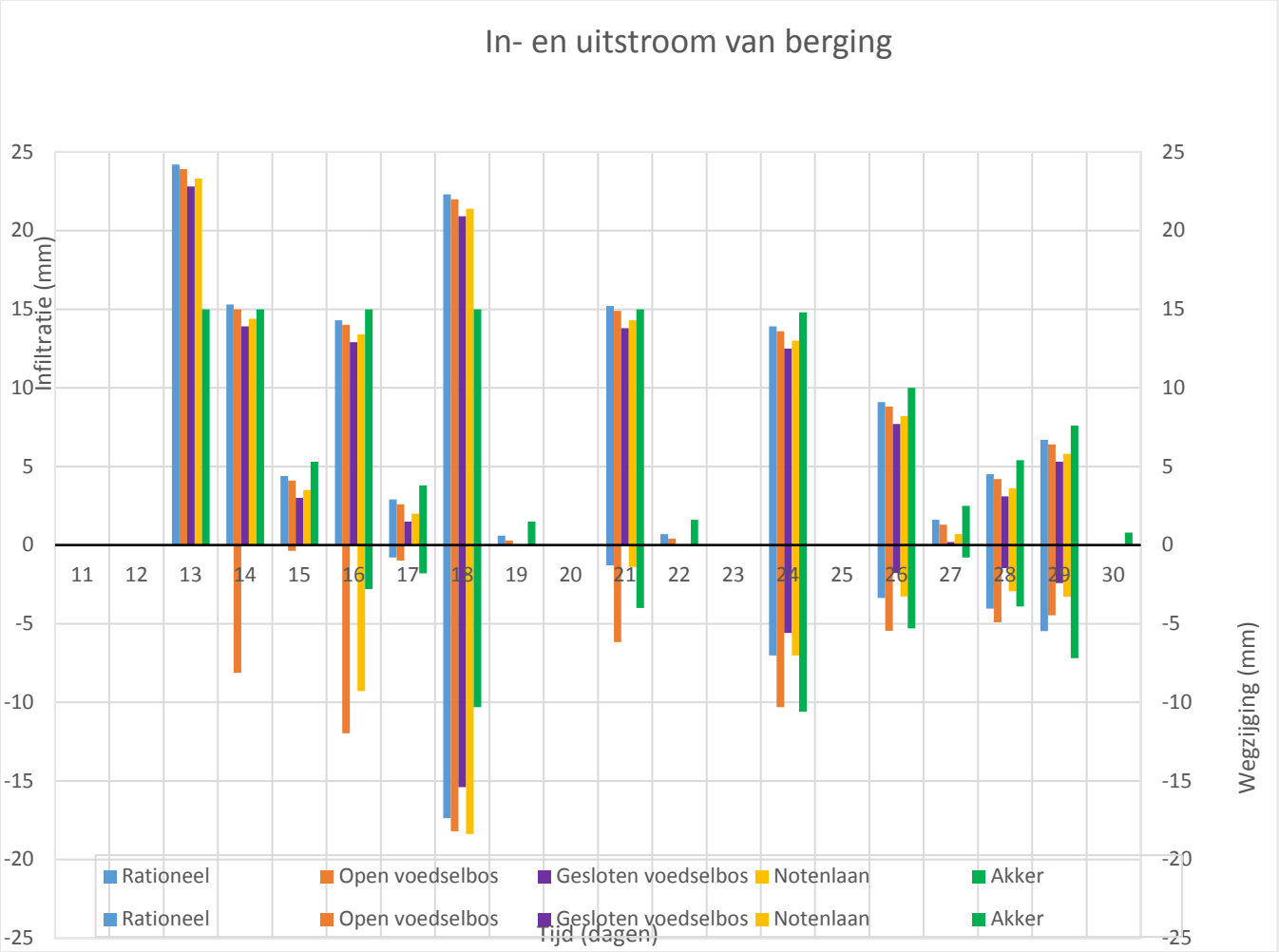
Bijlage XVI: Vergelijking waterbalansen

			Rat	Open	Gesloten	Noten	Akker	Rat	Open	Gesloten	Noten	Akker	Rat	Open	Gesloten	Noten	Akker
maand	juni	Decade	1					2					3				
N	mm/week	Som	1,5					97,6					66,8				
Opvang bladeren		Som	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	13,6	15,7	22,6	19,6	7,3	15,1	17,2	24,2	21,2	8
Effectieve neerslag (hide)			0	0	0	0	0	84	81,9	75	78	90,3	51,7	49,6	42,6	45,6	58,8
Infiltratie bodem		Som	0	0	0	0	0	84	81,9	75	78	70,6	51,7	49,6	42,6	45,6	57,7
Opp afstroming/plasvorming		Som	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19,7	0	0	0	0	1,1
E0	mm/dag		35,9					38					29,8				
f		Gem	1	0,78	1,2	1	1	1,05	0,81	1,2	1,05	1,0	1,05	0,81	1,2	1,05	1
Ep (f*E0)	mm/dag	Som	35,9	28,002	43,1	36	36	39,9	30,78	45,6	39,9	38,0	31,29	24,138	35,76	31,29	29,8
Grondwaterstand	cm-mv	Gem	219	164	189,2	209,2	159,2	219,7579	164,7579	189,7579	209,7579	159,8	217,7474	162,7474	187,7474	207,7474	157,7474
Stijgafstand	cm	Gem	179	89	39,2	109,2	134,2	179,7579	89,75789	39,75789	109,7579	134,8	177,7474	87,74737	37,74737	107,7474	132,7474
qc	mm/dag	Gem	1	2	2,0	2,0	1,8	0,84	1	1,8	1,6	1,3	0,87	1	1,2	1	1,14
Waterberging begin	mm/dag	Gem	127,5	248	480,0	323,6	113,3	139,7125	262,3429	491,45	337,5625	124,9	156,7835	270,1587	508,368	349,1135	140,38
Vochtgehalte	θv	Gem	0,32	0,33	0,32	0,32	0,45	0,349281	0,349791	0,327633	0,337563	0,4996	0,391959	0,360212	0,338912	0,349114	0,56152
Reductiecoefficient	C3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
verdamping actueel	Ea	Som	35,9	28,002	43,08	35,9	36	39,9	30,78	45,6	39,9	38,0	31,29	24,138	35,76	31,29	29,8
Waterbeging WZ	S mm	Gem	128,15	246,7166	477,644	321,98	111,48	143,138	264,4902	494,65	340,208	127,93	157,5735	270,5767	509,128	349,7535	141,13
Inzijging	mm/dag	Som	0	0	0	0	0	18,245	39,647	15,4	27,645	14,9	21,21	31,282	11,24	17,91	31,8
			Rat			Open			Gesloten			Noten			Akker		
maand	juni	Decade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
N	mm/week	Som	1,5	97,6	66,8	1,5	97,6	66,8	1,5	97,6	66,8	1,5	97,6	66,8	1,5	97,6	66,8
Opvang bladeren		Som	1,5	13,6	15,1	1,5	15,7	17,2	1,5	22,6	24,2	1,5	19,6	21,2	1,5	7,3	8
Infiltratie bodem		Som	0	84	51,7	0	81,9	49,6	0	75	42,6	0	78	45,6	0	70,6	57,7
Opp afstroming/plasvorming		Som	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19,7	1,1
E0	mm/dag		35,9	38	29,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
f		Gem	1	1,05	1,05	0,78	0,81	0,81	1,2	1,2	1,2	1	1,05	1,05	1	1	1
Ep (f*E0)	mm/dag	Som	35,9	39,9	31,3	28,0	30,8	24,1	43,1	45,6	35,8	35,9	39,9	31,3	35,9	38,0	29,8
Grondwaterstand	cm-mv	Gem	219,2	219,8	217,7	164,2	164,8	162,7	189,2	189,8	187,7	209,2	209,8	207,7	159,2	159,8	157,7
Stijgafstand	cm	Gem	179,2	179,8	177,7	89,2	89,8	87,7	39,2	39,8	37,7	109,2	109,8	107,7	134,2	134,8	132,7
qc	mm/dag	Gem	1,2	0,84	0,87	2	1	1	2	1,8	1,2	2	1,6	1	1,8	1,26	1,14
berekening	mm/dag		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Waterberging begin	mm/dag	Gem	127,5	139,7	156,8	247,5	262,3	270,2	480,0	491,5	508,4	323,6	337,6	349,1	113,3	124,9	140,4
Vochtgehalte	θv	Gem	0,32	0,35	0,39	0,33	0,35	0,36	0,32	0,33	0,34	0,32	0,34	0,35	0,45	0,50	0,56
Reductiecoefficient	C3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
verdamping actueel	Ea	Som	35,9	39,9	31,3	28,0	30,8	24,1	43,1	45,6	35,8	35,9	39,9	31,3	35,9	38,0	29,8
Waterbeging WZ	S mm	Gem	128,2	143,1	157,6	246,7	264,5	270,6	477,6	494,7	509,1	322,0	340,2	349,8	111,5	127,9	141,1
Inzijging	mm/dag	Som	0,0	18,2	21,2	0,0	39,6	31,3	0,0	15,4	11,2	0,0	27,6	17,9	0,0	14,9	31,8

Bijlage XVII: Verdamping per deelgebied



Bijlage XVIII: Verhouding infiltratie en wegzijging



Bijlage XIX: verandering vochtgehalte door neerslag

