



INFILTRATIEONDERZOEK WADI'S NIJMEGEN

Auteur: Friso Jansen
Opleiding: Land- en Watermanagement
Onderwijsinstelling: Hogeschool Van Hall Larenstein
Opdrachtgever: Gemeente Nijmegen

Begeleiders: Sidney Stax (gemeente Nijmegen)
Peter Groenhuijzen (Hogeschool Van Hall Larenstein)

Versie: Definitief
Datum: 14 oktober 2021

Voorwoord

Dit rapport betreft het onderzoek naar de verschillen in infiltratiesnelheid van wadi's, dat in de gemeente Nijmegen heeft plaatsgevonden. Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van mijn afstuderen voor de opleiding Land- en Watermanagement aan de Hogeschool Van Hall Larenstein. Het onderzoek is gestart in februari 2021 en is afgesloten in oktober 2021. Dit was mogelijk door een samenwerkingsverband tussen de gemeente Nijmegen en de Hogeschool Van Hall Larenstein.

Het onderwerp infiltratie vind ik zeer interessant, omdat het vanuit veel verschillende hoeken kan worden benaderd. Zo was bij het maken van dit rapport het bijzonder om te zien dat zelfs binnen één wadi verschillende initiatiesnelheden kunnen voorkomen. Hierbij kwam de vraag naar voren: waarom zijn deze verschillen er? Komt het door een verschil in betreding, een verschil in grondsoorten, de aanwezigheid van bepaalde planten of voorwerpen? Het uitzoeken hiervan was een leuke en leerzame ervaring.

Ik vond het zeer prettig dat er zowel theoretische als praktische aspecten aan het onderzoek vast zaten. Het uitvoeren van infiltratiemetingen heeft mij de mogelijkheid gegeven om verschillende plekken binnen de gemeente Nijmegen te zien en kennis te maken medewerkers en inwoners van de gemeente. Iets dat niet erg voor de hand lag tijdens de coronacrisis. Terugkijkend op de uitvoering van het onderzoek vind ik dat het gezien de omstandigheden (coronamaatregelen) soepel verliep. Voornamelijk was ik blij met de wekelijkse begeleiding van Sidney Stax van de gemeente Nijmegen en met de hoeveelheid veldwerk die uitgevoerd kon worden. Het veldwerk omvatten dan ook een groot deel van de stageperiode.

Omdat dit onderzoek is uitgevoerd tijdens coronacrisis verliep het anders dan wanneer het onderzoek buiten crisistijd zou zijn uitgevoerd. Zo is een groot deel van de computerwerkzaamheden thuis of op school verricht. Deze werkzaamheden had ik graag op kantoor uitgevoerd, zodat ik de mogelijkheid had gehad om mijn (tijdelijke) collega's van de gemeente Nijmegen beter te leren kennen.

Bij deze wil ik graag mijn begeleiders Sidney Stax van de gemeente Nijmegen en Peter Groenhuijzen van de Hogeschool Van Hall Larenstein heel hartelijk bedanken voor de goede begeleiding tijdens mijn afstudeerstage. Daarnaast wil ik ook graag mijn collega's van de gemeente Nijmegen bedanken voor het verschaffen van informatie en hun hulp bij het transport van het materiaal. De Hogeschool Van Hall Larenstein ben ik zeer erkentelijk voor het beschikbaar stellen van het materiaal voor de metingen en Armin Eulen van Sweco voor de samenwerking bij het uitvoeren van de grondboringen. Familie en vrienden bedank ik voor hun steun en hun positieve stimulans, in het bijzonder mijn vader die mij een week lang heeft geholpen met watertransport voor het uitvoeren van de metingen en Martijn Everts, Bos- en Natuurbeheer student, die mij heeft geholpen bij het determineren van de vegetatie. Last but not least bedank ik de inwoners van de gemeente Nijmegen die mij tijdens de infiltratiemetingen van water hebben voorzien.

Samenvatting

Het klimaat in Nederland verandert, waardoor er steeds vaker extreme weersomstandigheden voorkomen. Om het land voor te bereiden op het veranderende klimaat heeft de Nederlandse overheid besloten om het land klimaatrobust in te richten. Vandaar dat de gemeente Nijmegen een monitoringsprogramma heeft opgezet in het kader van klimaatadaptief onderzoek naar wadi's. Met het monitoringsprogramma wil de gemeente meer te weten komen over het gebruik, beheer, onderhoud en het functioneren van de wadi's.

Dit infiltratieonderzoek is een van de onderzoeken naar wadi's binnen het monitoringsprogramma van de gemeente Nijmegen. In dit onderzoek zijn de wadi's bekeken vanuit vier omgevingsfactoren. Deze omgevingsfactoren zijn Bodem, Bodemverdichting door betreding, Vegetatie en Onderhoud. Deze benadering is niet gericht op het oplossen van een specifiek probleem, maar heeft tot doel een mogelijke relatie aan te tonen tussen de onderzochte omgevingsfactoren en de waterdoorlatendheid van de wadi's.

In het onderzoek is gebruik gemaakt een dubbele ringinfiltrometer en zijn er grondboringen uitgevoerd. Op basis van de uitgevoerde metingen zijn de verschillende omgevingsfactoren onderzocht en is een infiltratiemodel van de wadi's gemaakt.

De omgevingsfactoren zijn op verschillende manieren benaderd, zoals het uitvoeren van grondboringen conform NEN 5104, het inventariseren van het wadi gebruik, de vegetatie en het onderhoud.

Uit het onderzoek is gebleken dat een zes infiltratiemeetpunten niet aan de landelijke norm voor wadi infiltratiesnelheid voldoen, maar dat de wadi's van de gemeente Nijmegen als geheel goed functioneren, met één uitzondering. Deze minder goed functionerende wadi heeft een slecht doorlatende kleiige ondergrond die mogelijk verdicht is door betreding van de bodem. Daarnaast zijn er ook resultaten naar voren gekomen die algemene informatie geven over de waterdoorlatendheid van wadi's. Zo is gebleken dat betreding van een wadi een negatief effect heeft op de waterdoorlatendheid. Het maaibeheer lijkt weinig invloed te hebben op de infiltratiesnelheid en de aanwezigheid van bomen staan in verband met een goede waterdoorlatendheid van de wadi.

Betreffende het functioneren van de wadi's is geadviseerd om de minder goed functionerende wadi aan te passen met een vorm van grondverbetering, door de grond af te graven en een zandlaag aan te brengen met als toplaag teeltaarde. De andere wadi's functioneren goed, hier zijn verder geen aanpassingen nodig. Wel worden er een aantal suggesties gedaan betreffende het beleid van de onderzochte wadi's. Deze suggesties kunnen ook worden meegenomen in de plannen voor nieuw aan te leggen wadi's.

Zo zou de gemeente kunnen overwegen om meer extensief maaionderhoud te plegen en bomen te planten om de waterdoorlatendheid te bevorderen. De gemeente zou bij toezeggen van recreatieve nevenfuncties in de wadi's, rekening kunnen houden met het feit dat wadi's die veel worden betreden een verminderde waterdoorlatendheid hebben.

Omdat het hier een oriënterend onderzoek betreft, kan de gemeente besluiten om op basis van de bevindingen van dit rapport nader onderzoek te doen naar specifieke onderdelen die gerelateerd zijn aan de waterdoorlatendheid van de wadi.

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Samenvatting.....	2
1 Inleiding	7
1.1 Probleemomschrijving.....	7
1.2 Doel van het onderzoek	8
1.3 Hoofdvraag en deelvragen	8
1.4 leeswijzer.....	8
2 Wadi's en omgevingsfactoren	9
2.1 Wat is een wadi?	9
2.2 Welke functie heeft een wadi?	10
2.3 Bodem	11
2.4 Bodemverdichting door betreding.....	11
2.5 Vegetatie	12
2.6 Onderhoud	12
3 Projectgebied	13
3.1 Onderzoeklocaties.....	13
3.2 Nijmegen Lent	15
3.3 Nijmegen Oosterhout.....	16
3.4 Westerpark.....	17
4 Onderzoeksmethoden.....	18
4.1 Infiltratieonderzoeksmethode met de dubbele ringinfiltrometer	19
4.1.1 Keuze onderzoeksmethode.....	19
4.1.2 Metingen uitvoeren.....	20
4.1.3 Bodemvocht bij de infiltratiemetingen	21
4.1.4 Grondwaterstand bij de infiltratiemetingen	21
4.2 Onderzoek naar de omgevingsfactoren	21
4.2.1 Bodem (methode)	22
4.2.2 Bodemverdichting door betreding (methode).....	23
4.2.3 Vegetatie (methode)	23
4.2.4 Onderhoud (methode)	24
4.3 Categoriseren en analyse	24
4.3.1 Bepalen van een categorie	24
4.3.2 Analyse	25
4.4 Minimale doorlatendheid testen	26
4.5 Modelleren wadi.....	26

5 Infiltratiemetingen	29
5.1 Infiltratiemeetresultaten	29
5.2 Waterhuishouding tijdens de metingen.....	29
5.2.1 Bodemvocht	30
5.2.2 Grondwaterstand	31
6 Combinatie van veld- en bureauonderzoek omgevingsfactoren	32
6.1 Bodem (onderzoek)	32
6.2 Bodemverdichting door betreding (onderzoek)	33
6.3 Vegetatie (onderzoek)	35
6.4 Onderhoud (onderzoek)	35
7 Invloed van omgevingsfactoren	38
7.1 Bodem	38
7.1.1 Bodem (categorisering)	38
7.1.2 Bodem (analyse)	39
7.1.3 Bodem (resultaat).....	41
7.2 Bodemverdichting door betreding	42
7.2.1 Bodemverdichting door betreding (categorisering).....	42
7.2.2 Bodemverdichting door betreding (analyse)	42
7.2.3 Bodemverdichting door betreding (resultaat)	43
7.3 Vegetatie	44
7.3.1 Vegetatie (categorisering)	44
7.3.2 Vegetatie (analyse)	45
7.3.3 Vegetatie (resultaat).....	47
7.4 Onderhoud	48
7.4.1 Onderhoud (categorisering)	48
7.4.2 Onderhoud (analyse)	49
7.4.3 Onderhoud (resultaat).....	49
8 Voldoen de wadi's aan de gestelde eisen?	50
8.1 Infiltratiesnelheid	50
8.2 Ledigingstijd.....	51
8.3 Hinder of schade.....	51
9 Beheer	53
9.1 Recreatief gebruik	53
9.2 Maaionderhoud.....	53
9.3 Aanpassingen.....	53
9.3.1 Aanpassingen doorlatendheid.....	53

9.3.2 Aanpassingen berging	54
10 Conclusie en aanbevelingen	55
10.1 Conclusie	55
10.2 Aanbevelingen	56
11 Discussie	58
Bibliografie	60
Bijlage	63
Bijlage 1 Stageopdrachten voor studenten wadi monitoring	64
Bijlage 2 Infiltratiemeetpunten	69
Bijlage 2 A (Nijmegen Lent)	70
Bijlage 2 B (Nijmegen Oosterhout)	72
Bijlage 2 C (Westerpark)	77
Bijlage 3 Onderzoeksmethodiek kiezen	82
Bijlage 4 Dubbele ringinfiltrometer methode	86
Bijlage 4 A (Materieel infiltratiemetingen)	86
Bijlage 4 B (Uitvoering van de infiltratiemetingen)	88
Bijlage 4 C (Infiltratiemeetgegevens verwerken)	89
Bijlage 5 Resultaten infiltratiemetingen	91
Bijlage 6 Boorlocaties, boorstaten en bodembevingen	92
Bijlage 6 A (Boorstaten)	92
Bijlage 6 B (Boorlocaties Nijmegen Lent)	98
Bijlage 6 C (Boorlocaties Nijmegen Oosterhout)	99
Bijlage 6 D (Boorlocaties Westerpark)	103
Bijlage 6 E (Bodembevingen)	106
Bijlage 7 Betreding	107
Bijlage 8 Aangetroffen vegetatie	109
Bijlage 9 Neerslag tijdens de metingen	111
Bijlage 10 Categorieën van omgevingsfactoren en analyse	112
Bijlage 10 A (Categorieën van de omgevingsfactoren)	114
Bijlage 10 B (Bodem categorieën en analyse)	115
Bijlage 10 C (Vegetatie categorieën en analyse)	117
Bijlage 10 D (Onderhoud categorieën en analyse)	120
Bijlage 11 Infiltratiemodel	122
Bijlage 11 A (Neerslaggegevens T buien)	123
Bijlage 11 B (Omschrijving infiltratiemodel)	124
Bijlage 11 C (Gegevensoverzicht)	125

1 Inleiding

In het kader van klimaatadaptatie voert de gemeente Nijmegen verschillende onderzoeken uit naar wadi's. Het onderzoek naar infiltratie dat in dit rapport wordt behandeld maakt hier deel van uit.

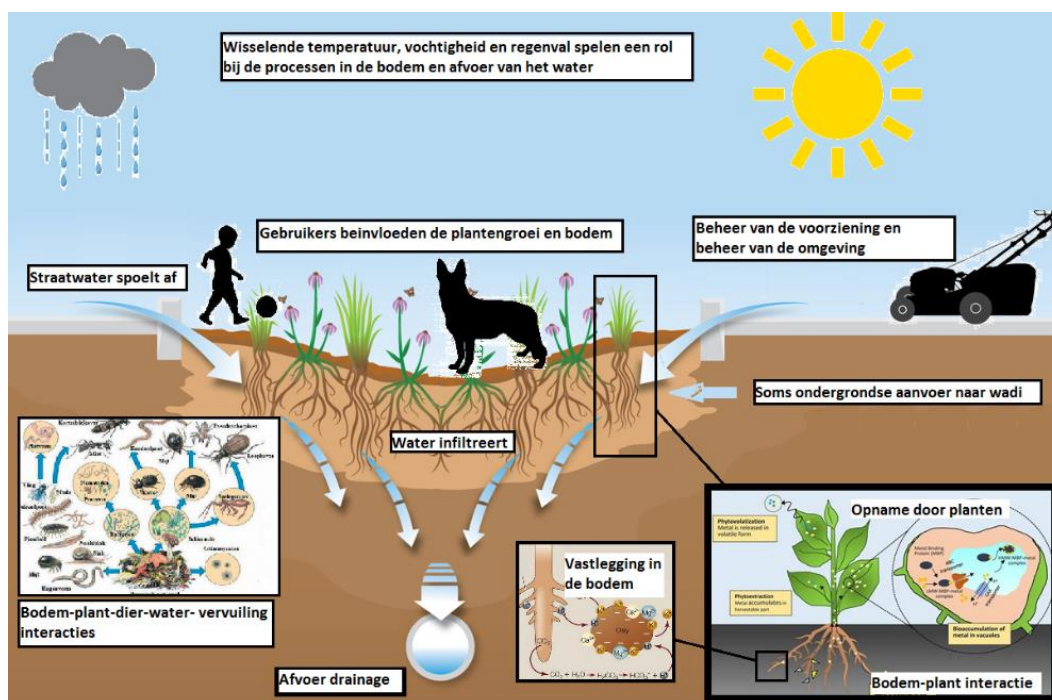
Op basis van de resultaten uit het onderzoek worden met betrekking tot de wadi's in Nijmegen in hoofdstuk 10 aanbevelingen aan de gemeente Nijmegen gedaan. In dit hoofdstuk wordt uitgelegd waarom het onderzoek is uitgevoerd, wat het doel van het onderzoek is en wat in de volgende hoofdstukken wordt behandeld.

1.1 Probleemomschrijving

Nederland heeft te maken met klimaatverandering. Extremere weersomstandigheden, zoals piekbuien en langdurige droogte komen steeds vaker voor. De Nederlandse overheid heeft daarom besloten om Nederland klimaatrobust in te richten (Kennisportaal Klimaatadaptatie, 2020). In dit kader doet de gemeente Nijmegen onder meer onderzoek naar het functioneren van wadi's.

De aanleg van een wadi is in theorie een doelmatige klimaatadaptieve maatregel (Stax, Gebruik, beheer, onderhoud en het functioneren van wadi's, 2020). "Zo helpt één wadi tegen wateroverlast en droogte (Boogaard, Een wadi kun je eigenlijk overal aanleggen, 2020)". Alleen blijkt in de praktijk dat wadi's niet altijd optimaal functioneren. Vandaar dat de gemeente Nijmegen aangeeft dat er behoefte is aan onderzoek naar het gebruik, beheer, onderhoud en het functioneren van de wadi's (Stax, Gebruik, beheer, onderhoud en het functioneren van wadi's, 2020).

De gemeente Nijmegen heeft een monitoringsprogramma opgezet voor wadi's binnen de gemeente. Op basis van dit programma worden onder de noemer van klimaatadaptief onderzoek verschillende onderzoeken naar wadi's uitgevoerd. Dit onderzoek naar waterdoorlatendheid en omgevingsfactoren is één van deze onderzoeken. Andere onderzoeken die de gemeente laat uitvoeren, of die nog moeten worden uitgevoerd, omvatten onderwerpen zoals bodemvervuiling, microbiologische processen, biodiversiteit en meer zoals weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 verschillende invloeden op een wadi (Stax, Gebruik, beheer, onderhoud en het functioneren van wadi's, 2020)

1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is om een mogelijke relatie aan te tonen tussen de onderzochte omgevingsfactoren (Bodem, Bodemverdichting, Vegetatie en Onderhoud) en de waterdoorlatendheid van de wadi ondergrond. Op basis van de resultaten worden betreffende het beheer aanbevelingen aan de gemeente Nijmegen gedaan.

In Bijlage 1 staat de stageopdracht van de gemeente Nijmegen. Deze opdracht is afkomstig uit het document Stax, Stage opdrachten Milieutechnisch functioneren groenblauwe klimaatadaptatie objecten, 2020.

1.3 Hoofdvraag en deelvragen

De kern van dit onderzoek is omschreven in de hoofdvraag, waarbij de deelvragen een leidraad in het rapport vormen om de hoofdvraag te beantwoorden.

Hoofdvraag

Wat zijn gelet op de waterdoorlatendheid en de omgevingsfactoren passende beheermaatregelen voor wadi's in de gemeente Nijmegen?

Deelvragen

Als leidraad voor het onderzoek zijn de onderstaande deelvragen gehanteerd.

- *Wat zijn de omgevingsfactoren binnen de scope van het onderzoek?*
- *Wat is de infiltratiesnelheid van de wadi's op de verschillende meetpunten?*
- *Wat is het verband tussen de omgevingsfactoren en de infiltratiesnelheid?*
- *Wordt met de infiltratiesnelheid voldaan aan de eisen?*
- *Wat zijn mogelijke beheermaatregelen?*

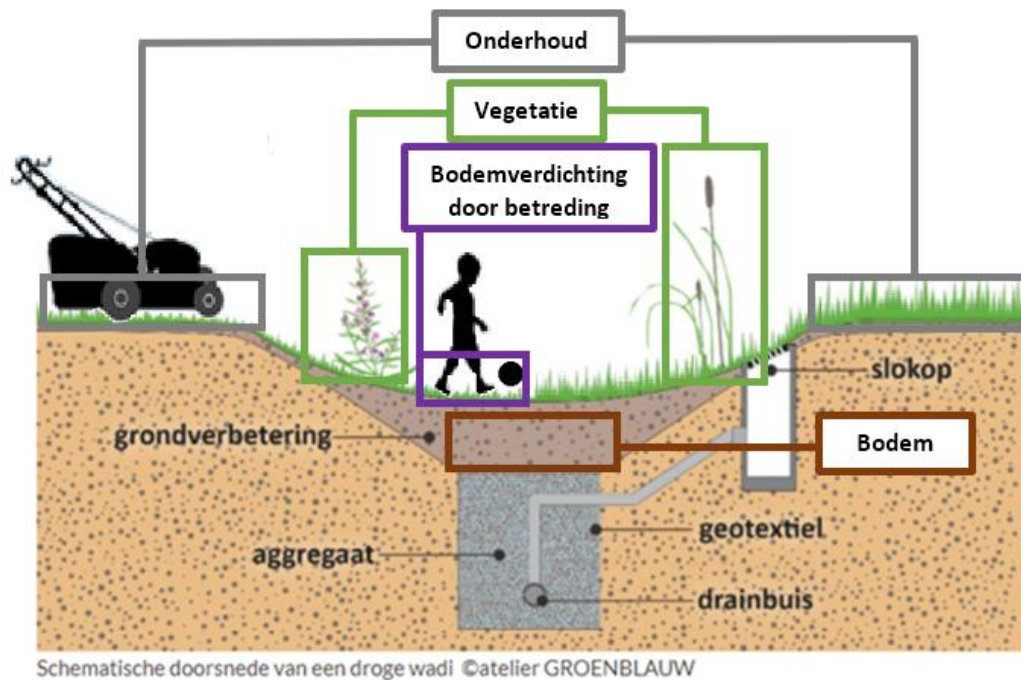
1.4 leeswijzer

In deze paragraaf wordt kort omschreven welke informatie in de komende hoofdstukken wordt geven.

In Hoofdstuk 2 wordt uitgelegd wat een wadi is, welke functies een wadi heeft en welke omgevingsfactoren binnen de wadi's zijn onderzocht. Hoofdstuk 3 wordt het projectgebied omschreven en welke wadi's zijn onderzocht. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 welke methodes gebruikt zijn binnen het onderzoek. Hoofdstuk 5 wordt uitgelegd wat de infiltratiemeetresultaten zijn uit het onderzoeken van de wadi's. In hoofdstuk 6 wordt uitgelegd welke data verzameld is uit het veld- en bureauonderzoek van de onderzochte omgevingsfactoren. Hoofdstuk 7 wordt de verzamelde data geanalyseerd en het resultaat hiervan besproken. Hoofdstuk 8 laat zien of de wadi's aan de gestelde functioneringseisen voldoen. In hoofdstuk 9 worden het beheeropties besproken op basis van het onderzoek. In Hoofdstuk 10 worden de hoofd- en deelvragen beantwoord, waarbij op basis van de gegevens conclusies worden getrokken. Tevens worden er aanbevelingen aan de gemeente Nijmegen gedaan. Hoofdstuk 11 vindt de discussie plaats over de validiteit, betrouwbaarheid van de meetgegevens en de limitaties van het onderzoek.

2 Wadi's en omgevingsfactoren

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd wat een wadi is, welke functies een wadi kan hebben en welke omgevingsfactoren onderzocht zijn in relatie met het infiltratieproces. De vier onderzochte omgevingsfactoren zijn hieronder weergegeven in Figuur 2. De onderzochte omgevingsfactoren zijn: Bodem, Bodemverdichting door betreding, Vegetatie en Onderhoud. De methode waarmee deze omgevingsfactoren onderzocht zijn wordt behandeld in hoofdstuk 4.

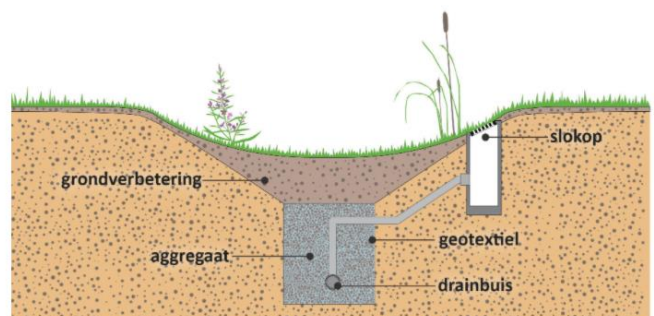


Figuur 2 Omgevingsfactoren in relatie met de waterdoorlatendheid

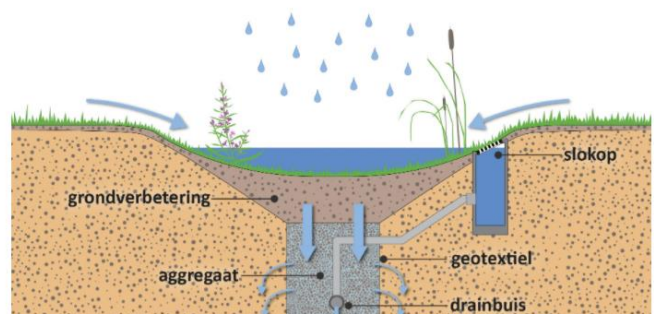
2.1 Wat is een wadi?

Het principe van een wadi is dat het hemelwater lokaal infiltreert, het is dus een hemelwaterinfiltratiesysteem. Wadi's zijn een steeds grotere rol gaan spelen in het stedelijk waterbeheer sinds het begin van de 21^{ste} eeuw. Het wordt voornamelijk toegepast in nieuwbouwwijken. In Figuur 3 is een dwarsdoorsnede van een wadi te zien, waarin wordt weergegeven uit welke verschillende componenten een wadi kan zijn opgebouwd en hoe deze functioneert. Niet elke wadi heeft alle componenten die weergegeven zijn in het drawspiegel, maar het is een veel gebruikt ontwerp (Boogaard, Een wadi kun je eigenlijk overal aanleggen, 2020).

Bij de meeste wadi's in woonwijken stroomt het hemelwater van de straat in de wadi's. Hier verzamelt het water zich en zal op den duur infiltreren in de grond.



Schematische doorsnede van een droge wadi ©atelier GROENBLAUW



Figuur 3 Wadi principe

Meestal is er in een wadi een vorm van grondverbetering toegepast. Grondverbetering is een aanpassing aan de bodem om infiltratie te bevorderen. Het kan zijn dat er onder de toplaag een aanvullende berging is aangebracht. Deze berging kan bestaan uit kunststofkratten, buizen, grind of kleikorrels. Om de berging heen is een waterdoorlatend geotextiel aangebracht. Dit moet voorkomen dat gronddeeltjes in de aangebrachte berging terecht komen, zodat de berging zich enkel met water kan vullen. Aan de rand van de wadi is een slokop geplaatst. De slokop moet voorkomen dat de wadi bij een overmatige hoeveelheid hemelwater overloopt. Via de slokop wordt het overtollige water naar een drainagebuis geleid (STOWA&RIONED, 2003) (Rainproof, 2021).

2.2 Welke functie heeft een wadi?

Wadi's kunnen verschillende functies hebben, afhankelijk van het ontwerp en de locatie van de wadi. Deze functies zijn onder andere infiltratie, berging, drainage, transport en zuivering.

Infiltratie

Wadi's zijn hemelwaterinfiltratiesystemen, vandaar dat infiltratie één van de belangrijkste functies van een wadi is. Doordat het hemelwater infiltreert in de grond zal het hemelwater vertraagd naar het grondwater worden afgevoerd en wordt het hemelwater deels gezuiverd voor het in contact komt met het grondwater (STOWA&RIONED, 2003) (Boogaard, Een wadi kun je eigenlijk overal aanleggen, 2020).

Berging

Het hemelwater wordt tijdens het infiltratieproces in de wadi geborgen. Omdat bij een regenbui vaak meer regen valt dan in een keer in de grond kan infiltreren, wordt er bij het ontwerp van een wadi rekening gehouden met de benodigde bergingscapaciteit.

Deze berging kan bij een wadi zowel bovengronds als ondergronds zijn (STOWA&RIONED, 2003):

- **Bovengrondse berging**
Bovengrondse berging is de ruimte die een wadi heeft boven het maaiveldniveau. Dus de ruimte in de kuil van de wadi waar het hemelwater kan worden geborgen.
- **Ondergrondse berging**
Ondergrondse berging is de ruimte die een wadi heeft onder het maaiveldniveau. Dit kan bijvoorbeeld in de vorm van grindkoffers die onder het maaiveld zijn aangebracht (Joostdevree, grindkoffer, 2021).

Drainage

In wadi's waar drainage is aangelegd zal deze in hoofdzaak op twee verschillende momenten in gebruik zijn. Bij een hoge grondwaterstand en in het geval van een heftige regenbui. De drainage is op een bepaalde diepte aangelegd. In het geval dat de lokale grondwaterstand zo hoog is geworden dat deze zich op dezelfde diepte bevindt als de drainage, dan wordt de grondwaterstand op dit peil gelijk gehouden, doordat het overtollige grondwater wordt gedraineerd (STOWA&RIONED, 2003). In de tweede situatie bij een heftige regenbui, zal de wadi zo ver vollopen met hemelwater dat de slokop wordt gebruikt om het hemelwater direct naar de drainage af te voeren (Gemeente Enschede, 2021).

Transport

Een wadi kan de mogelijkheid hebben om water af te voeren naar een ander gebied met meer bergingscapaciteit. De manier waarop het water wordt getransporteerd kan op meerdere manieren, bijvoorbeeld met drainagebuizen, goten of een grondduiker (Joostdevree, www.joostdevree.nl, 2021).

Zuivering

Afstromend hemelwater is over het algemeen niet schoon, dit komt door de vervuiling die van het afstromend oppervlak wordt meegenomen. Neerslag die op daken valt, kan afhankelijk van het type dakbedekking, deeltjes zink en lood meenemen. Neerslag die via de straat de wadi instroomt zal, afhankelijk van het soort verharding, koper, lood, zink en minerale oliën mee kunnen nemen. (Staller, 2021). Deze stoffen worden gedeeltelijk opgenomen door de vegetatie en het bodemleven in de wadi. Hierbij werkt voornamelijk de toplaag van een wadi als een filter. Deze toplaag bestaat vaak uit tuinaarde en kan zo'n 30 tot 50 cm diep zijn (Boogaard, Een wadi kun je eigenlijk overal aanleggen, 2020). Door de filtering kunnen vervuilende stoffen zich niet verder in de omgeving verspreiden (STOWA&RIONED, 2003).

2.3 Bodem

De waterdoorlatendheid van de bodem wordt onder andere bepaald door de grondsoort en het organisch materiaal in de bodem. De bodems van de wadi's in Nijmegen bestaan voornamelijk uit zand en klei. Het is bekend dat zandgrond beter waterdoorlatend is dan kleigrond (Grondwaterformules, 2021).

“De doorlatendheid van grond wordt bepaald door de grootte van de poriën van de grondmatrix. Voor uniforme gronden met ongeveer ronde gronddeeltjes zullen de porieafmetingen redelijk gecorreleerd zijn aan de grootte van de deeltjes. Voor gronden met een sortering in deeltjesgrootte en voor gronden met platte of staafvormige deeltjes is dat nog niet zo eenvoudig:

- Als de kleinere deeltjes de poriën van de grote deeltjes geheel vullen, wordt de doorlatendheid bepaald door het fijne materiaal, maar als de fijnere deeltjes maar een geringe fractie vormen zullen de grote poriën tussen de deeltjes open blijven.
- Platte (klei)en staafvormige deeltjes met relatief hoge porositeit” (Bot, 2016).

In dit onderzoek is gekeken naar de grondsoort en er is geen onderzoek gedaan naar de grootte van de poriën in de ondergrond. De reden hiervoor is dat het buiten de scope van het onderzoek valt en dat op deze manier de categorisatie van de bodem op een efficiënte manier kan plaatsvinden. Naast de bodemopbouw is er ook rekening gehouden met elementen die in de bodem voorkomen, zoals drainagebuizen en boomwortels. Dit omdat de aanwezigheid van deze elementen in de grond zorgt voor een vervorming van de bodem, wat weer een effect kan hebben op de infiltratiesnelheid.

2.4 Bodemverdichting door betreding

Het is bekend dat wanneer er druk uitgeoefend wordt op een ondergrond, dit kan zorgen voor een verdichting van de bodemstructuur. Bijvoorbeeld een landbouwvoertuig dat met zijn wielen druk uitoefent op een stuk landbouwgrond en daarmee de bodem verdicht (Akker, 2021). Bij het optreden van bodemverdichting wordt de waterdoorlatendheid van de bodem negatief beïnvloed. (Eijkelkamp, 2012).

Een van de belangrijkste functies van een wadi is het infiltreren van hemelwater. Daarom wil de gemeente Nijmegen graag weten of er een vorm van verdichting plaatsvindt in de wadi's en welk effect betreding heeft op deze verdichting. Kan het zijn dat spelende kinderen of voetgangers op den duur zoveel druk uitoefenen op de grond in de wadi dat het bodemverdichting veroorzaakt (Stax, Gebruik, beheer, onderhoud en het functioneren van wadi's, 2020).

2.5 Vegetatie

Vegetatie wordt meegenomen in dit onderzoek om te zien of er mogelijk een verband is tussen de infiltratiesnelheid en de aangetroffen vegetatie.

Wadi's zijn voor de meeste planten een lastige standplaats. De grond is vaak voedselrijk, maar heeft een sterk wisselende vochtigheid, met een lange periode van droogte en een korte periode van onderwater staan. Planten in een wadi moeten kunnen overleven bij enkele tientallen centimeters onderwater staan gedurende een etmaal afgewisseld met wekenlange droogte. Dit maakt dat de diversiteit van plantsoorten in een wadi beperkt is. Toch zijn er planten die door hun bijzondere standplaatsfactoren diversiteit kunnen brengen in de omgeving als geheel (Stax, Stage opdrachten Milieutechnisch functioneren groenblauwe klimaatadaptatie objecten, 2020).

Indien er een verband is tussen de infiltratiesnelheid en de aanwezige vegetatie, dan zijn er drie mogelijkheden:

- **De plant beïnvloed de bodem en veroorzaakt een verschil in infiltratiesnelheid**
De wortels van een plant kunnen zorgen voor een verandering van de bodemstructuur en dit kan een effect hebben op de infiltratiesnelheid (Stax, Stage opdrachten Milieutechnisch functioneren groenblauwe klimaatadaptatie objecten, 2020).
- **De standplaatsfactoren van de plant komen overeen met een bepaalde infiltratiesnelheid**
Elke plant heeft standplaatsfactoren zoals voedselrijkdom, zuurgraad, vochtgehalte en zoutgehalte. Indien er een verband lijkt te zijn tussen infiltratiesnelheid en een plant dan zou het mogelijk zijn dat dit door de standplaatsfactoren wordt veroorzaakt (CVN, 2014) (SynBioSys Nederland 3.4.4, 2021).
- **Toevallige overeenkomst tussen de infiltratiesnelheid en de aangetroffen plant**
Het is mogelijk dat plantsoorten een relatie lijken te hebben met de infiltratiesnelheid op basis van de infiltratiemeetgegevens, maar dit ook op toeval berusten.

Het kan zijn dat een specifieke plantsoort op veel verschillende plekken in Nederland onder veel verschillende omstandigheden voorkomt. Het is mogelijk dat deze plant elke keer bij toeval op slechts één grondsoort (bijvoorbeeld kleigrond) is waargenomen. Daardoor kan de indruk ontstaan dat deze plant een correlatie heeft met kleigrond, terwijl dit niet het geval is.

2.6 Onderhoud

In de gemeente Nijmegen worden niet alle wadi's even vaak onderhouden. Het aantal keren dat maaionderhoud plaatsvindt in een wadi kan variëren van één tot meer dan 20 keer per jaar. Het verschil in intensiteit heeft effect op de planten en mogelijk daardoor ook op de infiltratiesnelheid (Stax, Stage opdrachten Milieutechnisch functioneren groenblauwe klimaatadaptatie objecten, 2020).

3 Projectgebied

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd wat het projectgebied is en welke wadi's zijn onderzocht, ook wordt de keuze van de locaties toegelicht.

3.1 Onderzoeklocaties

Het onderzoek heeft in negen wadi's op drie verschillende locaties binnen de gemeente Nijmegen plaatsgevonden. Deze locaties zijn weergegeven in Figuur 4 en kaarten van alle wadi's zijn te vinden in Bijlage 2.

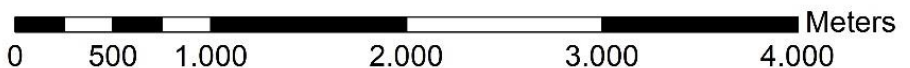
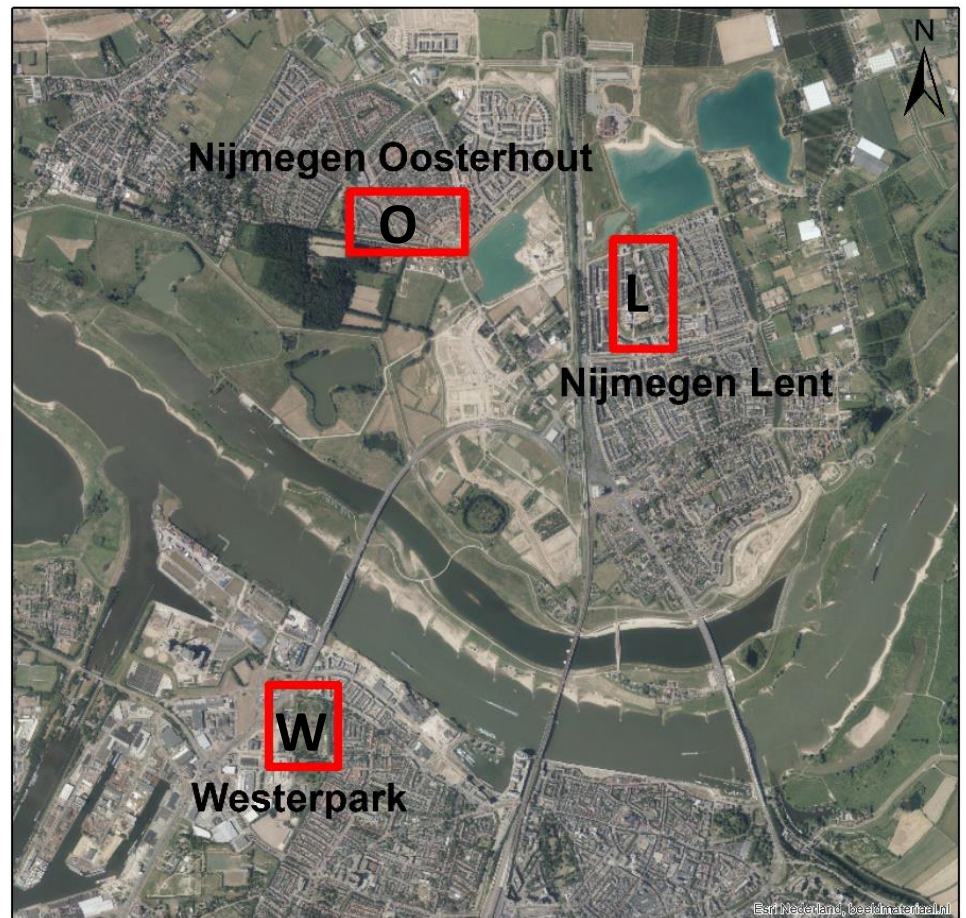
Nijmegen Lent: In dit gebied is één wadi onderzocht: L1.

Westerpark: In het Westerpark zijn de wadi's W1, W2, W3 en W4 onderzocht.

Nijmegen Oosterhout: Hier zijn de wadi's O1, O2, O4 en O5 onderzocht.

Wadi O3 ligt in het verlengde van wadi O2. Deze wadi's delen samen een aaneengesloten oppervlak. Gelet de strakke tijdsplanning is wadi O3 niet meegenomen in de infiltratiemetingen.

Overzichtskaart onderzoeklocaties



Legenda

 Onderzoek locaties

Figuur 4 Overzichtskaart onderzoeklocaties

Locatiekeuze

De wadi's zijn om de volgende redenen geselecteerd:

- **Eigenschappen van de wadi's**

De wadi's zijn onder andere geselecteerd op hun verschillende eigenschappen. Zo is bijvoorbeeld de wadi in Nijmegen Lent uitgekozen om het effect van betreding te onderzoeken. Deze wadi heeft namelijk verschillende delen die met een variërende intensiteit betreden worden.

Andere wadi's zijn uitgekozen om het verschil in onderhoud te meten. Zo heeft wadi O4 een ander onderhoudstype dan de rest van de wadi's in Nijmegen Oosterhout. Dit bood de mogelijkheid om verschillen tussen deze vormen van onderhoud te onderzoeken. Niet alle wadi's zijn geheel uniek. De overlappende eigenschappen van de wadi's maken het mogelijk om de bevindingen te kunnen controleren.

- **Beperkte afstand tussen de wadi's**

De wadi's liggen niet ver van elkaar. Dit maakt het mogelijk om op een efficiënte manier het veldwerk uit te voeren. Dit is belangrijk omdat de student Friso Jansen die de metingen uitvoerde, beperkt was in zijn vervoersmogelijkheden.

- **Wadi's waar ook ander onderzoek plaatsvindt**

Binnen de gemeente Nijmegen worden in meerdere wadi's onderzoeken uitgevoerd. In de periode dat de wadi's voor dit onderzoek geselecteerd zijn was Remy Staller, student aan de universiteit van Wageningen bezig met zijn onderzoek naar vervuiling in wadi's. Hiervoor had hij een aantal wadi's in Nijmegen Oosterhout geselecteerd.

Het is een voordeel voor de gemeente en de studenten dat er twee verschillende onderzoeken plaatsvinden in dezelfde wadi's. De studenten Remy Staller en Friso Jansen konden hierdoor informatie delen over de desbetreffende wadi's en de gemeente Nijmegen heeft op deze manier een beter beeld kunnen krijgen van de wadi's in Nijmegen Oosterhout.

3.2 Nijmegen Lent

Aan de straat Notenlaantje ligt wadi L1, zie Figuur 5. Deze wadi bestaat voor het grootste gedeelte uit open grasveld. Aan de randen van de wadi staan bomen, behalve aan de westelijke kant. De bomen staan op afstand van ongeveer 10 meter van elkaar. Door de wadi lopen drie drainagebuizen. Op maaiveldhoogte is duidelijk te zien waar de drainagebuizen zijn aangelegd, omdat boven deze buizen minder gras groeit dan in de rest van de wadi, zoals is te zien in Figuur 6. Een kaart met de infiltratiemeetpunten van deze wadi is te vinden in Bijlage 2 A - figuur a. Meer algemene informatie van de wadi staat in Bijlage 2 A - tabel a.

Deze locatie is uitgekozen om het effect van betreding te onderzoeken. De wadi ligt vlak naast basisschool De Verwondering en een daarbij behorende speeltuin. Kinderen van deze basisschool spelen regelmatig in de wadi en dan voornamelijk in het zuidelijke deel. Volgens een van de leerkrachten van De Verwondering wordt er sinds de scholen weer open zijn tijdens buitenspelen gebruik gemaakt van de wadi. Als voorzorgsmaatregel tegen Covid-19 worden de kinderen opgedeeld in twee kleinere groepen. Een van de groepen maakt gebruik van de speeltuin en de andere van de wadi. Daarnaast spelen kinderen uit de wijk ook vaak in deze wadi. Er kan met zekerheid worden gezegd dat iedere schooldag een groep van ongeveer 30 kinderen tenminste een 1 uur gebruik maakt van de wadi. Het betreft hier de periode van 8 februari (openstelling school) tot 14 april 2021 (dag waarop de metingen zijn uitgevoerd), dit heeft invloed op de mate van betreding. Ook is er een pad dat door de wadi loopt waarvan de ondergrond niet speciaal bewerkt is om het beter begaanbaar te maken. Dit pad is zo vaak betreden dat de grond op deze plek deels kaal is geworden. Het pad is enkel afgeschermd met keien van ongeveer 1 meter breed en een halve meter hoog, zie Figuur 7.

Deze wadi kent 3 niveaus van betreding. Het noordelijke deel van de wadi wordt weinig betreden, het zuidelijke deel van de wadi wordt matig betreden en het wandelpad in het zuidelijke deel kent sterke betreding.

Lent Notenlaantje: wadi L1



Figuur 5 Nijmegen Lent Notenlaantje



Figuur 6 Drainagebuizen Notenlaantje



Figuur 7 Looppad Notenlaantje

3.3 Nijmegen Oosterhout

De vier wadi's in Nijmegen Oosterhout zijn weergegeven in Figuur 8. Meer informatie over deze wadi's is te vinden in Bijlage 2 B - tabel b.

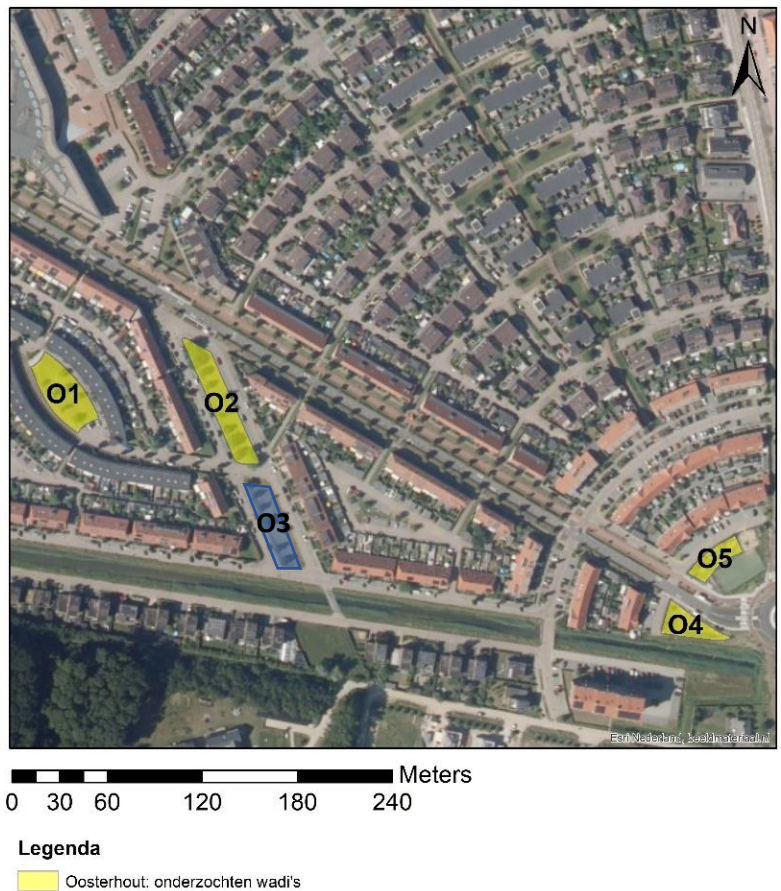
Wadi O1: Deze wadi ligt midden in een woonwijk. De wadi is voornamelijk begroeid met gras en rondom de wadi staan bomen op een afstand van ongeveer 10 meter van elkaar. Door het midden van de wadi loopt een drainagebuis. De wadi heeft een duidelijk instoempunt aan de zuidoostelijke zijde. Aan de noordwestelijke zijde van de wadi staat een muur en het maaiveld aan de binnenkant van deze muur is het laagste deel van de wadi. In Bijlage 2 B - figuur b staat een kaart van deze wadi.

Wadi O2: De wadi ligt midden in een woonwijk en is voornamelijk begroeid met gras. Door het midden van de wadi loopt een drainagebuis. Rondom de wadi staan bomen op een afstand van ongeveer 10 tot 20 meter van elkaar. In Bijlage 2 B - figuur c staat een kaart van deze wadi.

Wadi O4: Deze wadi ligt aan de rand van de woonwijk naast een rotonde, met een sloot aan de zuidkant en een rijbaan met een bushalte aan de noordkant. Rondom de wadi staan enkele struiken, bomen en een kleine haag ter afscheiding van een parkeerplaats. Deze wadi is interessant, omdat het onder een ander type maaibeheer valt dan de andere wadi's in de wijk Oosterhout. In Bijlage 2 B - figuur d staat een kaart van deze wadi.

Wadi O5: Deze wadi bevindt zich aan de rand van de woonwijk. Deze wadi is meegenomen in het onderzoek, omdat er een speeltuin in de wadi is gemaakt. Vandaar dat er een vermoeden is dat deze locatie veel betreden wordt. De noordwestelijke kant van de wadi grenst aan de parkeerplaats en is afgeschermd met een haag en een rij bomen die ongeveer 10 tot 15 meter van elkaar staan. In Bijlage 2 B - figuur e staat een kaart van deze wadi.

Nijmegen Oosterhout: onderzochte wadi's



Figuur 8 Nijmegen Oosterhout: onderzochte wadi's

3.4 Westerpark

In het park verschillen de wadi's sterk van elkaar. De wadi's in het Westerpark staan met elkaar in verbinding en hebben dus een gedeelde bergingscapaciteit. In Figuur 9 zijn alle onderzochte wadi's weergegeven. In Bijlage 2 C - tabel c staat meer informatie over de wadi's. In deze tabel zijn wadi W2 en W3 in dezelfde rij opgenomen, omdat het eigenlijk één wadi is. Maar door de sterke variaties in hoogte, beheer en ondergrond worden ze in de rest van dit rapport apart behandeld.

Wadi W1: Dit is een wadi zonder bomen of struiken en is voornamelijk begroeid met mos en gras. In deze wadi is een duidelijk verschil in vegetatie te zien tussen het noordelijk deel van de wadi dat voornamelijk begroeid is met gras en de rest van de wadi die bestaat uit een mix van mos en gras. In Bijlage 2 C - figuur f staat een kaart van deze wadi.

Wadi W2: Deze wadi bestaat hoofdzakelijk uit een grasveld met aan de westelijke en noordelijke randen bomen die op een afstand van 10 tot 15 meter van elkaar staan. Tussen deze bomen groeit struikgewas. Aan de noordoostelijke grens met wadi W3 wordt de wadi overbrugt. In Bijlage 2 C - figuur g staat een kaart van deze wadi.

Wadi W3: Dit is een wadi met sterke variatie in ondergrond en vegetatie. De wadi kent voornamelijk stukken gras en kale grond met bomen en stuiken verspreid door de hele wadi. In de noordoostelijke hoek van de wadi is een zitgedeelte met een grindondergrond en keien met een diameter van ongeveer 1 meter, zoals te zien is in Figuur 10. Dit deel van de wadi kon niet worden onderzocht op infiltratiesnelheid, omdat de dubbele ringinfiltrator beschadigd zou raken door de grindondergrond. In Bijlage 2 C - figuur h is een kaart van deze wadi te vinden.

Wadi W4: In deze wadi is een klein bos gerealiseerd, waarbij het midden van de wadi vol staat met 33 verschillende soorten jonge bomen. Deze zijn op 28 september 2019 door de kinderen van Kindcentrum Aquamarijn te Nijmegen geplant. Een foto van de huidige staat van het bos is te zien in Figuur 11. Daarnaast is er ook puin in de wadi aangetroffen (Ivn, 2019). In Bijlage 2 C - figuur i staat een kaart van deze wadi.

Westerpark: onderzochte wadi's



0 20 40 80 120 160 Meters

Legenda

Westerpark: onderzochte wadi's

Figuur 9 Westerpark: onderzochte wadi's



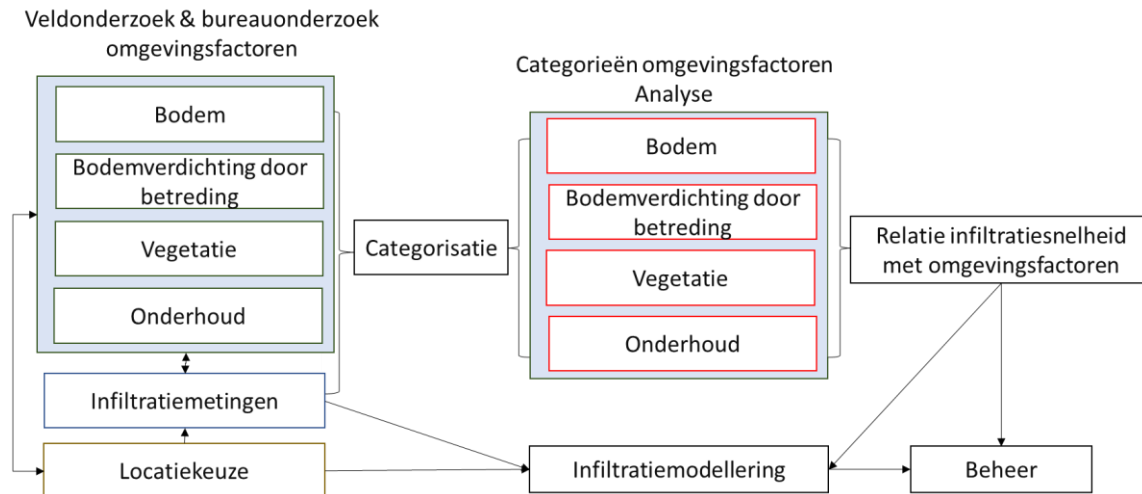
Figuur 10 Zithoek wadi W3



Figuur 11 Het Biezenbos

4 Onderzoeksmethoden

In dit hoofdstuk is omschreven welke methoden zijn gebruikt voor het onderzoeken van de omgevingsfactoren en het testen van de wadi's aan de door de gemeente Nijmegen gestelde eisen. Figuur 12 is een diagram waarin een overzicht wordt weergegeven van het onderzoek.



Figuur 12 Onderzoek overzicht diagram

Locatiekeuze

De locaties van de wadi's zijn bepaald op basis van bureauonderzoek. De omgevingsfactoren zijn in dit onderzoek meegenomen.

Infiltratiemetingen

De meetpunten zijn deels bepaald op basis van bureauonderzoek en deels op basis van de waarnemingen ter plaatse tijdens het veldonderzoek.

Van veld- en bureauonderzoek naar omgevingsfactor categorieën

De resultaten uit het veld- en bureauonderzoek zijn vervolgens gebruikt om categorieën te maken. Binnen elke omgevingsfactor zijn meerdere categorieën gemaakt om de relatie tussen de omgevingsfactoren en de infiltratiesnelheid te kunnen analyseren.

Infiltratiemodellering

Van de wadi's zijn infiltratiemodellen gemaakt om te zien of de wadi's aan de gestelde eisen van de gemeente voldoet. Hierbij is gekeken naar de relatie tussen de omgevingsfactoren en de infiltratiesnelheid in verschillende delen van een wadi.

Beheer

Op basis van de relatie tussen de omgevingsfactoren en de infiltratiesnelheid en de resultaten van het infiltratiemodel is gekeken of de wadi's aan de eisen van de gemeente Nijmegen voldoen en hoe het beheer op basis van de omgevingsfactoren eventueel kan worden aangepast.

4.1 Infiltratieonderzoeksmethode met de dubbele ringinfiltrometer

In deze paragraaf wordt uitgelegd waarom er voor het infiltratieonderzoek is gekozen voor het gebruik van een dubbele ringinfiltrometer, hoe de omgevingsfactoren met deze methode zijn onderzocht en hoe de meetresultaten worden verwerkt.

4.1.1 Keuze onderzoeksmethode

Voor dit onderzoek is gekozen voor een dubbele ringinfiltrometer, zie Figuur 13. Deze is gekozen omdat het de heterogeniteit van de bodem in beeld brengt, goede verticale infiltratie weergeeft en niet arbeidsintensief is. Welke methode voor dit onderzoek vergeleken zijn staat weergegeven in bijlage 3. Hieronder staan de drie criteria waarmee deze methode is gekozen.

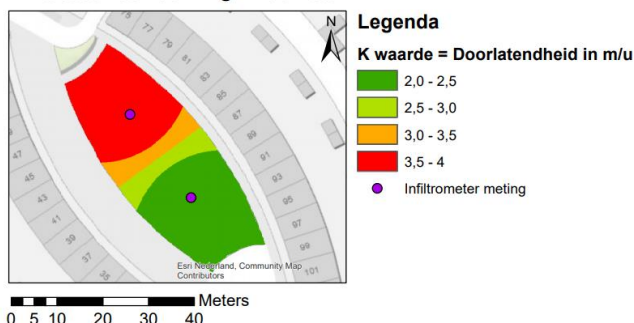


Figuur 13 Dubbele ringinfiltrometer

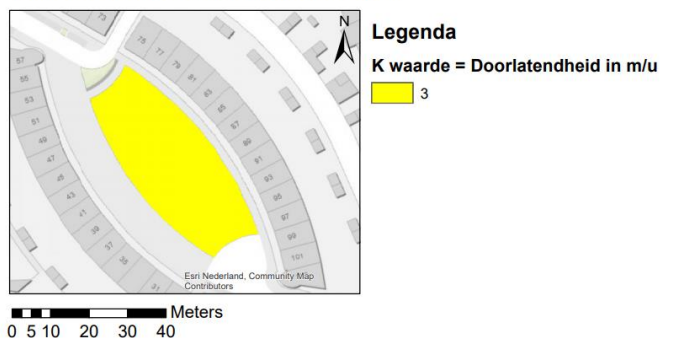
- **Heterogeniteit van de ondergrond waarnemen**

Met de ringinfiltrometer kan per punt de infiltratie worden bepaald. Dit is handig omdat binnen een wadi de infiltratie kan verschillen. De infiltratie is niet homogeen, maar heterogeen verdeeld over de wadi (althans dat is wat wordt onderzocht). Dus door verschillende puntmetingen te doen kunnen we die heterogeniteit laten zien en mogelijk koppelen aan de factoren die ook heterogeen verdeeld zijn (bomen, betreding, etc., zie ook Hoofdstuk 2). Dit is niet mogelijk bij de methode waarbij de wadi volledig vol wordt gezet met water (inundatie methode) zoals is weergegeven in Figuur 14.

Infiltratieonderzoek ringinfiltrometer



Infiltratieonderzoek wadi vol laten lopen



Figuur 14 Infiltratieonderzoek vergelijking (fictieve gegevens)

- **Verticale infiltratie meten**

De methode moet geschikt zijn om verticale infiltratie te meten. Dit is niet altijd het geval omdat water ook horizontaal kan weg stromen.

- **Arbeidsintensiviteit**

De onderzoeksmethode mag niet te arbeidsintensief zijn omdat er een beperkt aantal mensen, materiaal en tijd beschikbaar is.

4.1.2 Metingen uitvoeren

In deze paragraaf wordt uitgelegd welk materieel is gebruikt, waar rekening mee gehouden moest worden tijdens het veldwerk en hoe de infiltratiemeetgegevens zijn verwerkt.

De dubbele ringinfiltrometer

Bij het uitvoeren van de infiltratiemetingen wordt een klein oppervlak onderwater gezet, zie Figuur 15. Dit oppervlak bestaat uit twee ringen, een kleine en een grote ring, zoals is weergegeven in Figuur 15. De binnenring heeft een straal van 14 cm en een omcirkeld oppervlak van 615 cm². De buitenring heeft een straal van 26,5 cm en een omcirkeld oppervlak van 2206 cm². Beide ringen hebben een hoogte van 25 cm.

De reden dat er twee ringen worden gebruikt in plaats van één, is om zeker te stellen dat het water in de binnenste ring verticaal in de ondergrond infiltreert. Het water van de binnenste ring zal namelijk niet horizontaal wegstromen als het water in de buitenste ring tegendruk geeft (Eijkelkamp, 2012).

Infiltratie metingen in het veld

Bij het uitvoeren van de metingen in het veld zijn volgende punten van belang:

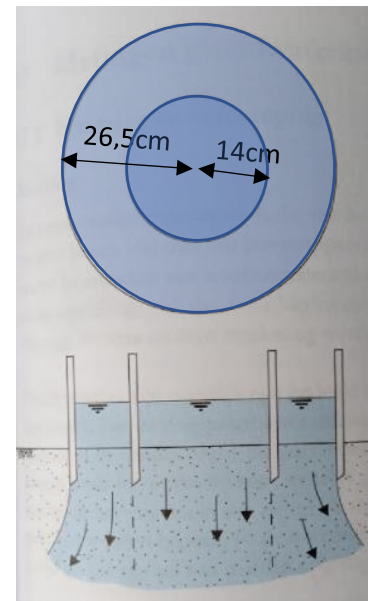
- **Beide ringen minstens 5 cm in de grond plaatsen**
De twee ringen moeten minstens 5 cm in de ondergrond worden geplaatst. Dit is om te voorkomen dat water tussen de ringen wegstroomt.
- **Een waterpeil van 5 à 10 cm aanhouden tijdens de meting**
Het is belangrijk dat gedurende de meting er altijd water in de twee ringen staat. In de instructie van het bedrijf Eijkelkamp wordt geadviseerd om een waterpeil van 5 à 10 cm aan te houden (Eijkelkamp, 2012). Tijdens deze metingen is daarom een waterhoogte van 10 cm aangehouden.
- **Voldoende water aanwezig op de meetlocatie**
Er moet voldoende water aanwezig zijn tijdens de infiltratiemeting om op de meetlocatie een (bijna)-verzadigde doorlatendheid te meten. In de algemene instructie van het bedrijf Eijkelkamp wordt geadviseerd om tijdens de infiltratiemeting 25 liter bij de hand te hebben (Eijkelkamp, 2012). Tijdens het onderzoek was per onderzochte wadi vaak 80 liter water aanwezig, omdat wadi's over het algemeen een goed waterdoorlatende bodem hebben.

Meer informatie betreffende infiltratie metingen is te vinden in bijlage 4:

- Bijlage 4 A: hierin staat een lijst met materieel dat is gebruikt tijdens de infiltratiemetingen en de tabel die gebruikt is om de metingen tijdens het veldwerk te noteren.
- Bijlage 4 B: hierin staat een uitgebreide omschrijving van de manier waarop de infiltratiemetingen van het onderzoek zijn uitgevoerd.

Verwerking infiltratiegegevens

Tijdens het veldwerk zijn gegevens over de infiltratiesnelheid van de wadi's verzameld. Deze gegevens zijn vervolgens in een Excel spreadsheet verwerkt, zoals is te zien in Bijlage 4 C. Het is belangrijk om te weten dat bij veldmetingen de metingen bijna nooit exacte constante waardes laten zien. "Vaak wordt een variatie van <10% binnen een bepaalde tijdstap als constant



Figuur 15 dubbele ringinfiltrometer (Bot, 2016)

beschouwd" (Eijkelkamp, 2012). Deze tijdstap kan verschillen per meting, zo kan een meting een interval hebben van 1-2 minuten maar ook 20 tot 30 minuten (Eijkelkamp, 2012).

4.1.3 Bodemvocht bij de infiltratiemetingen

Het bodemvocht is in dit onderzoek niet gemeten. Bij het uitvoeren van infiltratiemetingen met de dubbele ringinfiltratometer wordt de ondergrond verzadigd totdat de metingen een constante vorm aannemen (Eijkelkamp, 2012). Hierdoor speelt het oorspronkelijke bodemvochtgehalte geen grote rol in het uiteindelijke meetresultaat, maar het effect dat bodemvocht heeft op de metingen kan niet worden uitgesloten. Het is namelijk mogelijk dat de doorlatendheid van de bodem van een wadi zo goed is, dat (bijna)-verzadiging van de grond niet wordt bereikt.

Indicatieve benadering van het bodemvochtgehalte

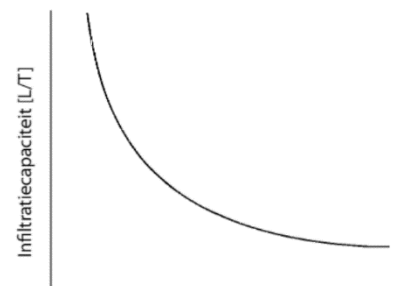
Het bodemvochtgehalte wordt op twee manieren benaderd. Door te kijken naar de infiltratiemeetgegevens en de hoeveelheid neerslag voor de dagen dat metingen zijn uitgevoerd:

- **Infiltratiemeetgegevens**

De infiltratiemetingen laten meestal een afname van infiltratiesnelheid zien naarmate de meting vordert en de bodem meer verzadigd met water, zoals is te zien in Figuur 16. Deze afname is een indicatie dat de bodem (bijna)-verzadigd is.

- **Neerslag**

Er is gekeken naar de hoeveelheid neerslag die is gevallen op de dagen voordat de infiltratiemetingen zijn uitgevoerd. Als op deze dagen geen grote hoeveelheid neerslag is gevallen, dan is de kans klein dat de ondergrond van de gehele wadi tijdens de meting volledig verzadigd is. De neerslagcijfers zijn afkomstig van het KNMI (Dagwaarden neerslagstations, 2021).



Figuur 16 infiltratieverloop (Eijkelkamp, 2012)

4.1.4 Grondwaterstand bij de infiltratiemetingen

Het effect van de grondwaterstand op het infiltratieproces is naar verwachting minimaal. Bij een grondwaterpeil tot of net onder het maaiveldniveau, neemt de infiltratiecapaciteit af richting nul en stagneert het infiltratieproces (Eijkelkamp, 2012). Zolang dit niet het geval is heeft de grondwaterstand geen effect op de uitgevoerde metingen. Daarnaast zijn in een deel wadi's die zijn onderzocht drainagebuizen aangelegd. Hierdoor komt het grondwater niet hoger dan de diepte van de drainagebuizen (Gemeente Enschede, 2021).

Benadering van de grondwaterstand

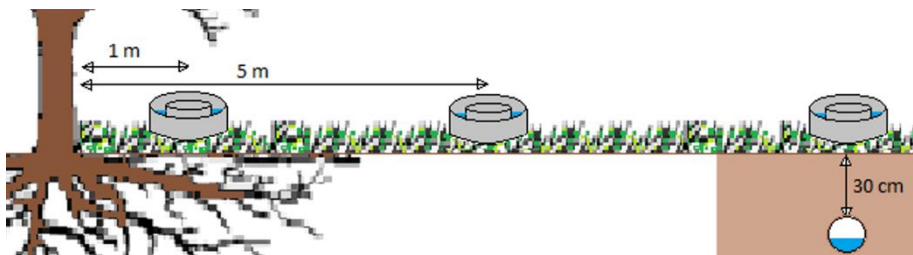
Door te kijken welke grondwatertrappen in de wadi's aanwezig zijn, is bij benadering de hoogte van het grondwater bepaald. Voor het onderzoek naar de hoogte van het grondwater is gekeken naar de maaiveldhoogte van de wadi's en welke grondwatertrap er in de regio van de wadi aanwezig is. Hierbij is gebruik gemaakt van AHN viewer, het programma Atlas van de gemeente Nijmegen en een grondwaterdynamiekaart van de Universiteit van Wageningen (Universiteit van wageningen, sd).

4.2 Onderzoek naar de omgevingsfactoren

In deze paragraaf wordt uitgelegd hoe de verschillende omgevingsfactoren zijn onderzocht. Resultaten van deze omgevingsfactoren worden in hoofdstuk 6 omschreven.

4.2.1 Bodem (methode)

De samenstelling van de bodem is van invloed op de doorlatendheid en daarmee op het infiltratieproces. Het infiltratieproces zal langzaam verlopen als de bodem geen goede doorlatendheid kent, tenzij er in de bodem materialen voorkomen die het infiltratieproces kunnen versnellen. De omgevingsfactor bodem omvat verschillende grondsoorten en materialen die in de bodem van een wadi kunnen voorkomen, zoals boomwortels en drainagebuizen zoals is te zien in Figuur 17. Met de infiltratie-metgegevens is bekeken welk effect verschillende grondsoorten en materialen hebben op het infiltratieproces.



Figuur 17 boomwortels en drainagebuizen

Grondboringen conform NEN 5104

Om er achter te komen wat de bodemopbouw in de verschillende wadi's is, zijn grondboringen uitgevoerd. In totaal zijn er 20 grondboorlocaties uitgekozen, zie Bijlage 6. Alle grondboringen zijn conform NEN 5104 uitgevoerd. NEN 5014 is een classificatie voor het indelen van grondsoorten (NEN, 1989). De grondboringen zijn op 10 en 11 mei 2021 door Friso Jansen (student, gemeente Nijmegen) en Armin Eulen (veldwerker, Sweco) uitgevoerd.

Bepaling van het aantal grondboringen

In totaal zijn er 20 grondboringen gevoerd. Om verzekeringstechnische reden wil de gemeente Nijmegen niet dat de student de grondboringen zelfstandig uitgevoerd. Vandaar dat het bedrijf Sweco is ingeschakeld om te helpen bij de grondboringen. Vanuit kostenoverwegingen is er afgesproken dat er 20 grondboringen worden uitgevoerd.

Locatie bepaling grondboringen

Bij het bepalen van de locaties voor de grondboringen is gekeken naar de locaties die het meest representatief kunnen zijn voor de bodem waar de infiltratiemetingen plaatsvinden. Hierbij is gekozen om de 20 grondboringen op exact dezelfde plekken uit te voeren waar de infiltratiemetingen zijn uitgevoerd. Daarbij is ook rekening gehouden met de situatie dat deze grondboringen ook in de buurt van de overige 16 infiltratiemeetpunten plaatsvinden, zodat de boringen ook representatief zijn voor de bodem van deze infiltratiemeetpunten.

Op meerdere infiltratiemeetpunten is het überhaupt niet mogelijk om grondboringen uit te voeren. Zo is het niet mogelijk om grondboringen uit te voeren op de infiltratiemeetpunten die naast bomen zijn uitgevoerd. Dit zou namelijk beschadigingen aan zowel de boomwortels als aan het boomtracéel kunnen veroorzaken.

4.2.2 Bodemverdichting door betreding (methode)

Wanneer er druk op een ondergrond wordt uitgeoefend, kan dit voor bodemverdichting zorgen. Deze verdichting kan een negatief effect hebben op de doorlatendheid van de bodem (Akker, 2021). Omdat sommige wadi's met enige regelmaat betreden worden, is het van belang om te weten of dit een effect heeft op de doorlatendheid.

Uitkiezen van de wadi's en meetlocaties

De wadi's O4 en O5 in Nijmegen Oosterhout zijn samen met wadi L1 uit Nijmegen Lent uitgekozen voor het onderzoek naar bodemverdichting door betreding. Wadi's L1 en O5 zijn gekozen vanwege een hoge recreatieve waarde, terwijl wadi O4 juist is uitgekozen omdat het een lage recreatieve waarde heeft en daarmee in contrast staat met L1 en O5.

4.2.3 Vegetatie (methode)

De vegetatie in en rondom een wadi kan van invloed zijn de infiltratiesnelheid, zoals in paragraaf 2.5 wordt uitgelegd. Bij de keuze van de meetpunten is rekening gehouden met de aanwezige vegetatie, zowel op het meetpunt zelf als in de directe omgeving.

Onderzoeken van de vegetatie

De vegetatie is op twee manieren onderzocht:

- **Het uitvoeren van metingen naast bomen**
Om het effect van bomen mee te nemen in het onderzoek zijn infiltratiemetingen uitgevoerd op een afstand van één tot vijf meter naast een boom.

De reden dat er geen metingen vlak naast de bomen zijn uitgevoerd, is omdat de boomwortels direct naast de boom vaak zo dik zijn dat de dubbele ringinfiltrometer niet op die plek in de grond geplaatst kan worden. Daarbij komt dat zowel de boom als het meetmateriaal hierdoor zouden kunnen beschadigen. Vandaar dat de infiltratiemetingen op ongeveer één meter afstand van de boom zijn uitgevoerd.

De metingen op een afstand van vijf meter van een boom zijn meegenomen, omdat deze ook voorkomen in andere infiltratieonderzoeken van de gemeente Nijmegen (MOS GRONDMECHANICA B.V., 2019) en vanwege de bevindingen die tijdens het veldwerk zijn opgedaan. Bij een van de uitgevoerde metingen die op vijf meter afstand van een boom plaatsvond, zijn namelijk boomwortels aangetroffen.

- **Het onderzoek naar vegetatie op de infiltratiemeetpunten**

Bij elk van de 36 infiltratiemeetpunten is gekeken welke planten aanwezig zijn in de binnenste ring van de dubbele ringinfiltrometer, omdat de infiltratiesnelheid binnen deze ring wordt gemeten. Deze ring heeft een diameter van 28 cm en een oppervlak van afgerond 615 cm² zoals is te zien in Figuur 18.



Figuur 18 binnenste ring dubbele ringinfiltrometer

Determineren van de planten

Voor het determineren van de aangetroffen planten is gebruik gemaakt van het programma PlantNet (PlantNet, 2021). Hiermee kon op basis van de foto's van de planten bepaald worden welke planten aanwezig zijn. Ook is

informatie ingewonnen bij een student bos- en natuurbeheer. Informatie over een deel van de vegetatie staat in het programma Atlas (Atlas, 2021) en is dus bekend bij de gemeente Nijmegen.

4.2.4 Onderhoud (methode)

Een vraag van de gemeente Nijmegen is of het onderhoud van de wadi een effect heeft op de infiltratiesnelheid. Deze omgevingsfactor heeft bij het uitkiezen van de wadi's een rol gespeeld, omdat niet alle wadi's op dezelfde manier worden onderhouden. De verschillende soorten onderhoud worden in paragraaf 6.4 weergegeven. De informatie betreffende het onderhoud van de wadi's is voornamelijk afkomstig van Bas de Beijer (Kwaliteitsbeheerder Groen gemeente Nijmegen) en het programma Atlas (Gemeente Nijmegen, 2021).

4.3 Categoriseren en analyse

Om de verschillende bevindingen met elkaar te vergelijken zijn binnen de omgevingsfactoren Bodem, Bodemverdichting door betreding, Vegetatie en Onderhoud categorieën gemaakt. Met het maken van deze categorieën worden de omgevingsfactoren nader gespecificeerd. De categorieën zijn op basis van de bevindingen in hoofdstuk 6 gemaakt en worden in hoofdstuk 7 uitgewerkt.

4.3.1 Bepalen van een categorie

Bij de categorisering van de omgevingsfactoren spelen de volgende vier factoren een rol. Bij elk van de factoren staan voorbeelden die duidelijk maken waarom op deze manier is gecategoriseerd.

- **Resultaten uit onderzoek**

De categorieën zijn vastgesteld op basis van de resultaten uit infiltratiemetingen, grondboringen, vegetatie- en bureauonderzoek.

Bijvoorbeeld, bij de omgevingsfactor Bodem is gekeken naar de bodemopbouw en de elementen die in de grond aanwezig zijn, zoals klei, zand, boomwortels en drainagebuizen.

- **Samenhang tussen de omgevingsfactoren**

Bij het bepalen van de categorieën is ook gekeken naar de samenhang tussen de omgevingsfactoren en de invloed op het infiltratieproces.

Zo is bij de omgevingsfactor Onderhoud niet alleen gekeken naar het soort onderhoud, maar bijvoorbeeld ook naar de omgevingsfactor Bodem, omdat de bodemopbouw invloed heeft op de infiltratiesnelheid.

Als de categorieën puur op onderhoud zouden zijn geselecteerd, dan zou het bijvoorbeeld kunnen lijken dat maaibeheer (A) veel beter is voor het infiltratieproces dan maaibeheer (B). Terwijl maaibeheer (A) toevallig alleen op zandondergronden plaatsvindt en maaibeheer (B) alleen op kleiige ondergronden wordt toegepast. Dus als er geen rekening gehouden wordt met de grondsoort, zou dit een onjuiste weergave zijn van het effect dat onderhoud daadwerkelijk heeft.

- **Categorieën nader specificeren**

Op basis van de resultaten uit het onderzoek zijn bepaalde categorieën nader gespecificeerd. Zo is bijvoorbeeld bij de omgevingsfactor bodem in de categorie kleigrond rekening gehouden met de elementen die in de kleigrond voorkomen. Op deze manier wordt de invloed van de elementen op het infiltratieproces zichtbaar gemaakt en ontstaat er een juister beeld van de invloed die kleigrond heeft op het infiltratieproces.

- **Aantal metingen binnen een categorie**

Als er binnen een categorie maar een beperkt aantal metingen zijn uitgevoerd, dan kan er met minder zekerheid iets over de categorie worden gezegd.

Bijvoorbeeld, er zijn enkele planten die maar één keer bij een meetpunt zijn aangetroffen.

Op basis van slechts één meting kan met weinig zekerheid iets worden gezegd over het effect van de plant op de infiltratiesnelheid. Het is belangrijk dat er genoeg waarnemingen zijn om iets te zeggen over een mogelijk verband. Vandaar dat er besloten is dat voor het maken van categorieën binnen de omgevingsfactor Vegetatie er minstens vier metingen moeten zijn waar dezelfde plant is aangetroffen.

4.3.2 Analyse

In hoofdstuk 7 worden de gemaakte categorieën van de omgevingsfactoren Bodem, Bodemverdichting door betreding, Vegetatie en Onderhoud per omgevingsfactor met elkaar vergeleken. Het vergelijken van categorieën binnen een omgevingsfactor heeft op twee manieren plaatsgevonden:

- **Visualisaties zoals histogrammen en boxplots**

Hiermee zijn de infiltratiemeetresultaten van de verschillende categorieën zichtbaar gemaakt.

- **Het testen van statistisch significante verschillen tussen de categorieën**

Op deze manier is geprobeerd om te kijken of er statistisch significante verschillen zijn tussen de categorieën. De resultaten van deze tests hebben een indicatief karakter. Voor een wetenschappelijke onderbouwing dient er meer onderzoek plaats te vinden.

De omgevingsfactor Bodemverdichting door betreding, zal niet op deze manier worden benaderd. De bodemverdichting door betreding is in een paar specifieke wadi's nader onderzocht. Deze vorm van analyse is echter niet mogelijk, omdat er maar een beperkt aantal metingen per wadi heeft plaatsgevonden.

Statistiek

Om met statistiek een verschil te kunnen aantonen is tussen de categorieën, is gebruik gemaakt van de volgende twee testen, namelijk Tests of Normality (Kolmogorov-Smirnov) en Kruskal-Wallis 1-way ANOVA (k sampels) (IBM SPSS, 2021).

Hieronder staat waarvoor de testen gebruikt zijn en waarom hiervoor is gekozen:

- **Tests of Normality (Kolmogorov-Smirnov)**

Deze test is gebruikt om zien of de infiltratiemeetgegevens in de verschillende categorieën normaal verdeeld zijn. Op basis hiervan is bepaald welke statistische test moet worden uitgevoerd. Als de gegevens niet normaal verdeeld zijn mogen bepaalde statistische testen niet worden gebruikt.

- **Kruskal-Wallis 1-way ANOVA (k sampels)**

Deze statistische test wordt uitgevoerd, omdat met deze test meerdere categorieën met elkaar kunnen worden vergeleken en de testgroepen niet normaal verdeeld hoeven te zijn.

Uit de Tests of Normality (Kolmogorov-Smirnov) bleek dat een belangrijk deel van de gemaakte categorieën niet normaal verdeeld was. Vandaar dat voor het testen van verschillen enkel gebruik gemaakt is van de Kruskal-Wallis 1-way ANOVA (k sampels) test. Kruskal-Wallis 1-way ANOVA (k sampels) test mag namelijk worden toegepast op niet normaal verdeelde categorieën.

4.4 Minimale doorlatendheid testen

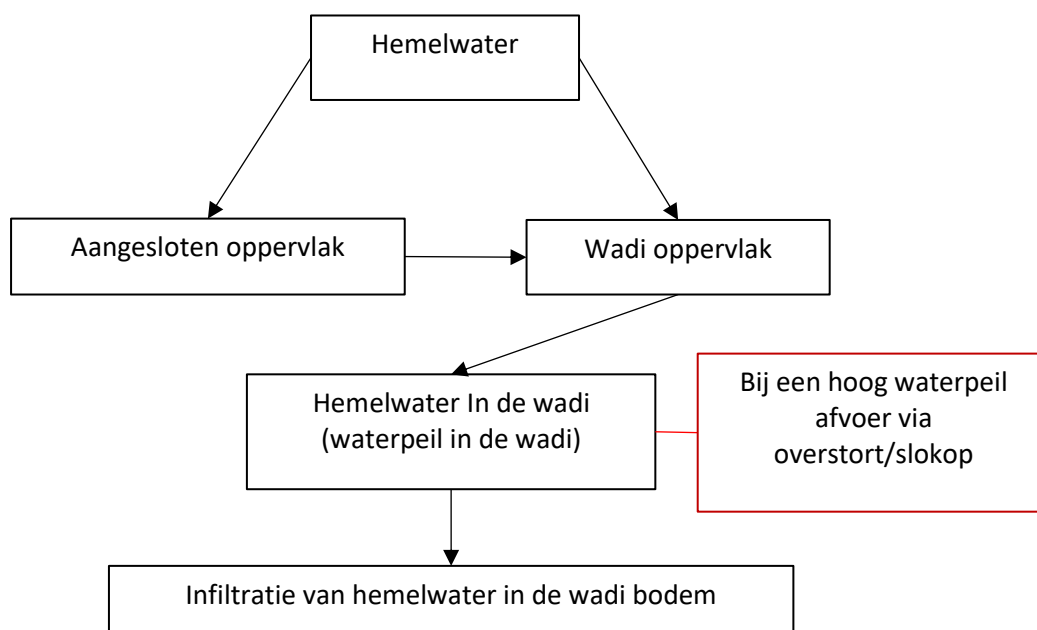
In Nederland is er een richtlijn voor de minimale doorlatendheid van een wadi ondergrond. Dit is 0,5 meter per dag ofwel 0,35 millimeter per minuut (Floris Boogaard, 2006). De resultaten uit de infiltratiemetingen zijn met deze richtlijn vergeleken, zie paragraaf 8.1. De metingen waarvan de doorlatendheid van de bodem niet aan deze richtlijn voldoen, zijn op basis van de omgevingsfactoren onderzocht en per meetpunt benaderd.

4.5 Modelling wadi

Er zijn voor de wadi's in Nijmegen Lent en Nijmegen Oosterhout infiltratierekenmodellen gemaakt, om de wadi's te kunnen testen aan drie eisen die de gemeente Nijmegen aan de wadi's stelt. Deze eisen zijn:

- De wadi's moeten na een regenbui binnen 24 uur leeg zijn (Stax, Stage opdrachten Milieutechnisch functioneren groenblauwe klimaatadaptatie objecten, 2020). Dit is behandeld in paragraaf 8.2.
- Er mag geen schade of ernstige hinder optreden ten gevolge van het functioneren van hemelwatervoorzieningen bij neerslag met een herhalingsstijd van 2 jaar of minder (Gemeente Nijmegen, 2016), zie paragraaf 8.3.
- Er mag geen schade optreden ten gevolge van het functioneren van openbare riolering en hemelwatervoorzieningen bij neerslag met een herhalingsstijd van 10 jaar of minder (Gemeente Nijmegen, 2016), zie paragraaf 8.3.

De wadi's in het Westerpark zijn al onderzocht op het functioneren bij neerslag met een herhalingsstijd van 2 en 10 jaar. Vandaar dat deze wadi's niet opnieuw op deze drie eisen zijn getest. Hoe dit infiltratiemodel functioneert wordt schematisch weergegeven in Figuur 19 en een uitleg aan de hand van voorbeelden en formules in Bijlage 11 B.



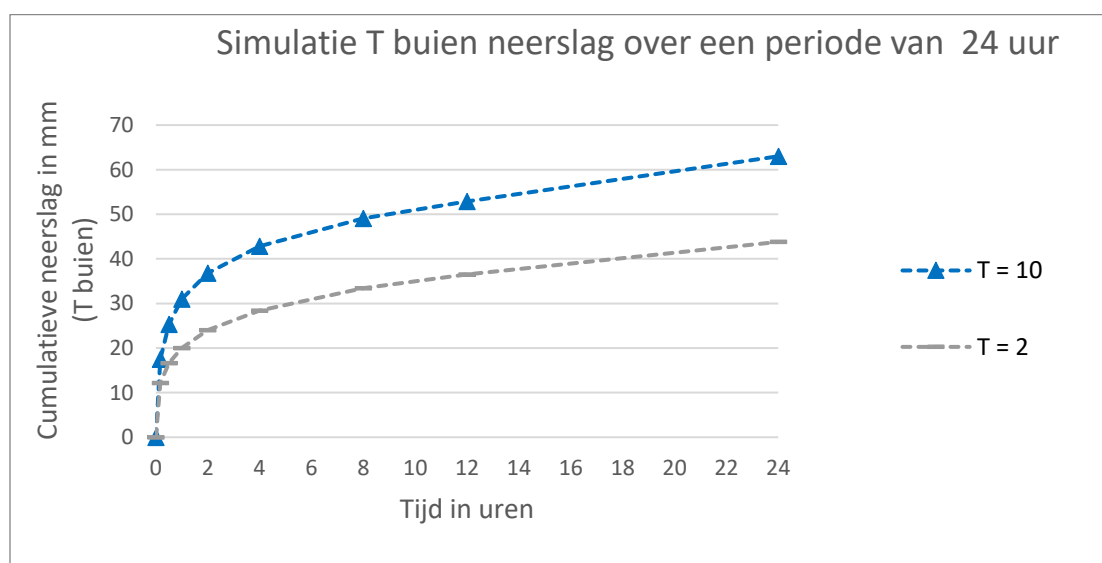
Figuur 19 Schematische weergave infiltratiemodel

Het hemelwater valt op het aangesloten oppervlak en het wadi oppervlak. Van het aansloten oppervlak stroomt het water naar de wadi. Het hemelwater infiltreert in de wadi bodem. Het water dat nog niet is geïnfiltreerd, vormt het waterpeil in de wadi. Indien het waterpeil in de wadi de hoogte heeft bereikt van de overstort of slokop, dan wordt het overtollige water afgevoerd. De informatie die voor het maken van het model is gebruikt, wordt hieronder weergegeven:

- **De infiltratiemetingen**
Dit zijn de metingen die in de onderzochte wadi's zijn uitgevoerd, zie Bijlage 5.
- **Het aangesloten oppervlak**
Hier is met hoogtekarten en bestanden met geografische gegevens van de gemeente bekeken hoe groot het aangesloten oppervlak van de wadi's is (AHN Viewer, 2019).
- **Afmetingen van de wadi (oppervlakte en diepte)**
Het infiltratiemodel houdt rekening met maar één vastgestelde diepte van een wadi, en het oppervlak van de gehele wadi. Dit zorgt ervoor dat het model de vorm heeft van een bak water en daardoor kan de bergingscapaciteit iets overgedimensioneerd zijn.
- **De aanwezigheid van een overstort of slokop**
Wanneer een overstort of slokop is aangebracht in een wadi, dan kan het waterpeil in de wadi niet hoger zijn dan de hoogte van de overstort of de slokop. Bij die hoogte wordt het water namelijk door de overstort of de slokop afgevoerd.
- **Neerslaggegevens van het KNMI (buiensimulatie)**
Voor het testen van de infiltratiesnelheid zijn de wadi's getest op het functioneren bij een heftige regenbui. Hiervoor zijn T2 en T10 neerslaggegevens gebruikt. De T waarde geeft aan hoe vaak een bui in een bepaalde periode voorkomt, gebaseerd op de neerslagstatistieken van Nederland. Zo is een T2 bui een bui die eens in de twee jaar voorkomt ((HKV), 2019).

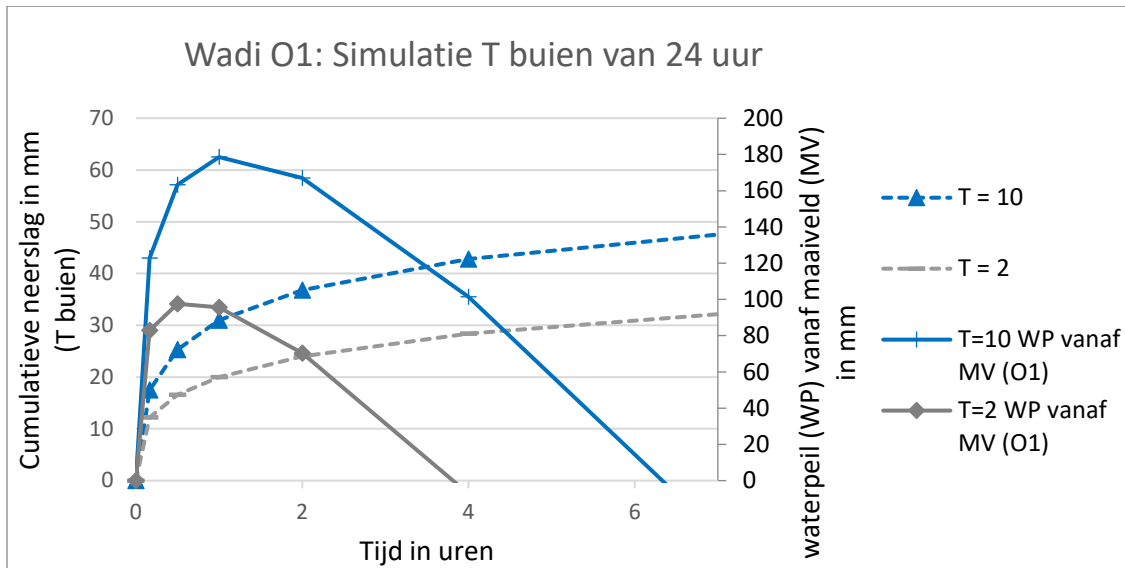
Neerslagsimulatie T buien

In Figuur 20 staan de neerslagsscenario's die gebruikt zijn voor het testen van de wadi's. De neerslaggegevens die zijn gebruikt voor het model zijn weergegeven in Bijlage 11 A. De neerslag is cumulatief weergegeven in millimeters. Bij deze neerslagsscenario's wordt rekening gehouden met een korte periode van veel neerslag, waarna de hoeveelheid neerslag afneemt.



Figuur 20 Simulatie T buien van 24 uur

In Figuur 21 staat als voorbeeld de neerslagsimulatie van wadi O1. Hierin is te zien dat het waterpeil (WP) vanaf maaiveld (MV) enkel een stijging doormaakt aan het begin van de neerslagscenario's T10 en T2. Naarmate de simulatie vordert neemt de neerslagintensiteit af terwijl de infiltratiesnelheid constant blijft en het waterpeil (WP) daalt.



Figuur 21 Wadi O1: Simulatie T buien neerslag over een periode van 24 uur

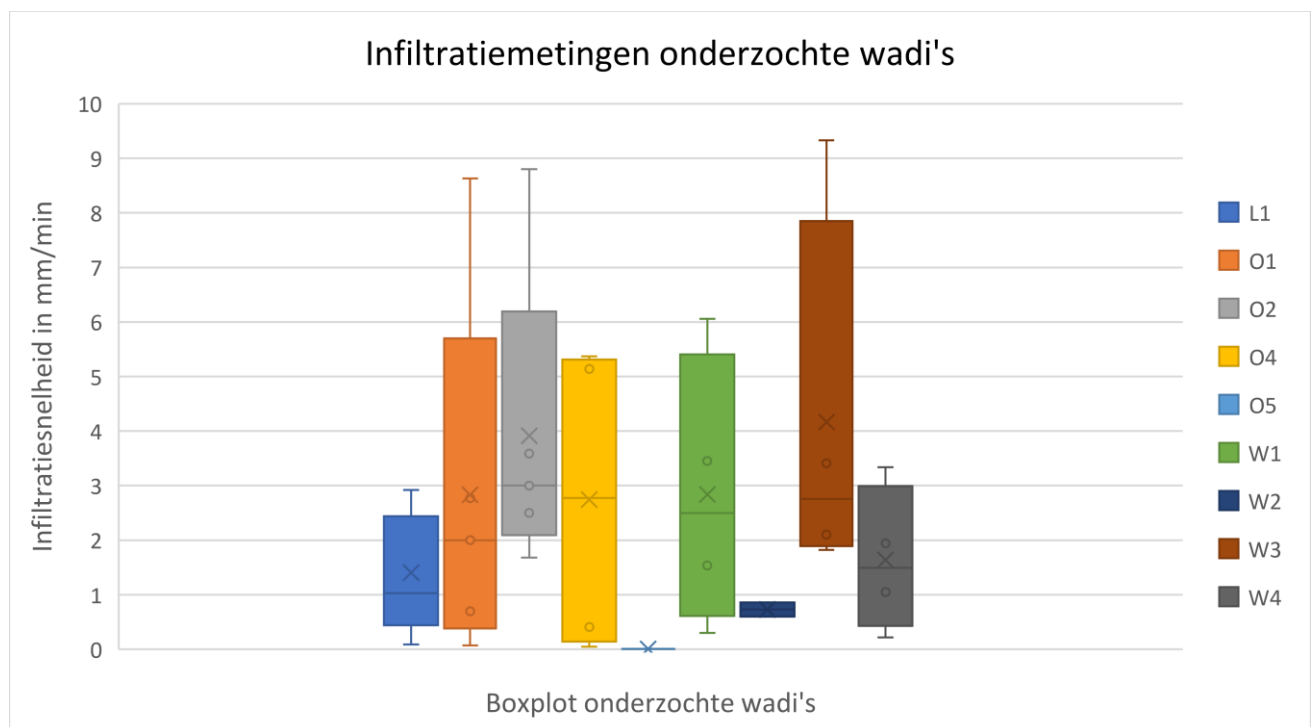
5 Infiltratiemetingen

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de metingen met de dubbele ringinfiltrometer behandeld. Hierin wordt ook omschreven op welke manier er rekening is gehouden met de eventuele invloed van het bodemvocht en de grondwaterstand tijdens de metingen.

5.1 Infiltratiemeetresultaten

In totaal zijn er 36 meetresultaten in het verslag gebruikt, deze meetresultaten zijn te vinden in bijlage 5. De exacte infiltratiemeetpunten zijn aangegeven op de kaarten in bijlage 2. Alle veldmetingen zijn uitgevoerd in de periode van 25-3-2021 tot en met 3-5-2021.

In Figuur 22 staat een weergave van alle meetresultaten per wadi. In deze figuur is te zien dat er binnen de wadi's, afhankelijk van het meetpunt, een groot verschil kan zijn in infiltratiesnelheid. Om de verschillende omgevingsfactoren te kunnen onderzoeken is een deel van de metingen bewust uitgevoerd op plekken waar een verschil verwacht zou kunnen worden, zoals bijvoorbeeld metingen naast bomen of in veel betreden delen van wadi's.



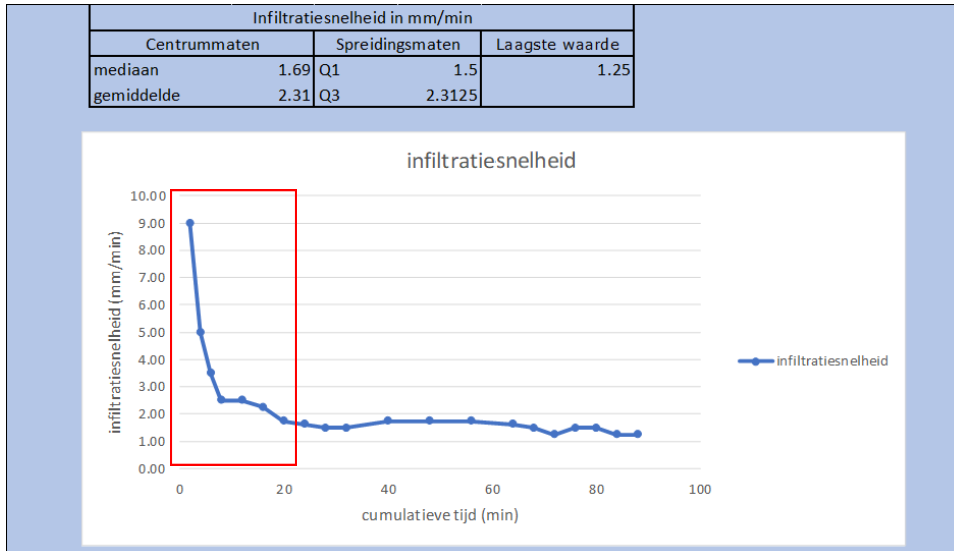
Figuur 22 Infiltratiemetingen onderzochte wadi's

5.2 Waterhuishouding tijdens de metingen

In deze paragraaf wordt uitgelegd hoe er rekening is gehouden met het bodemvocht en de grondwaterstand op de infiltratiemeetpunten. Hierbij is het bodemvocht indicatief benaderd met neerslaggegevens rondom de infiltratiemeetdagen en het grondwater door te kijken naar de grondwatertrappen die in de wadi's aanwezig zijn.

5.2.1 Bodemvocht

Bij het uitvoeren van de infiltratiemetingen is geen gebruik gemaakt van een vochtmeter. Bij de meeste metingen is duidelijk zichtbaar dat de infiltratiesnelheid aan het begin van een meting hoger is dan wanneer de meting verder in progressie is. Hieruit valt af te leiden dat de bodem bij de start van de meting nog niet verzadigd is. Als voorbeeld is in Figuur 23 het proces van verzadiging van de bodem te zien, dit is geaccentueerd in de rode rechthoek (Eijkelkamp, 2012).



Figuur 23 Verzadiging van de bodem

Neerlag

In Tabel 1 wordt weergegeven hoeveelheid neerslag er in twee etmalen voor een infiltratiemeting is gevallen. Indien er minder dan een millimeter aan regen is gevallen, dan is deze meetlocatie niet meegenomen in de tabel. Voor een volledige neerslagweergave van de meetdagen zie In deze bijlage wordt weergegeven hoeveel regen er gevallen is de periode voordat de infiltratiemetingen zijn uitgevoerd. Hierbij is steeds gekeken naar twee etmalen voor dat de infiltratiemetingen zijn uitgevoerd. Tijdens de infiltratiemetingen was het altijd droog.

Bijlage 9 tabel a. De metingen zelf zijn uitgevoerd op een moment van de dag dat het niet regende. Vandaar dat de neerslag van de dag zelf niet is meegenomen in de tabel.

Tabel 1 neerslag

Datum	Meting	Cumulatieve neerslag in mm van de twee voorgaande etmalen	Infiltratiesnelheid in mm/min
29-3-2021	O2 M1	3,90	2,50
29-3-2021	O2 M2	3,90	3,00
29-3-2021	O2 M3	3,90	1,68
30-3-2021	W1 M1	1,40	0,30
30-3-2021	W3 M1	1,40	3,41
13-4-2021	L1 M1	13,40	1,03
13-4-2021	L1 M2	13,40	0,68
13-4-2021	L1 M3	13,40	2,92
21-4-2021	O4 M4	3,60	0,05

(Dagwaarden neerslagstations, 2021) (Daggegevens van het weer in Nederland, 2021)

In Tabel 1 worden geen uitspraken gedaan over het bodemvochtgehalte. Wel kan worden geconcludeerd dat bij de meeste metingen de neerslag geen invloed heeft op het bodemvocht tijdens de metingen en op de dagen waarbij neerslag mogelijk wel een rol kan spelen, is het effect beperkt. Van wadi's mag worden verwacht dat zij de capaciteit hebben om in 24 uur het hemelwater in de bodem te laten infiltreren (Stax, Gebruik, beheer, onderhoud en het functioneren van wadi's, 2020). Omdat niet alle wadi's deze capaciteit hebben, is gekeken naar de dubbele tijd (48 uur).

5.2.2 Grondwaterstand

Bij het meten van de infiltratiesnelheid heeft de hoogte van het grondwater geen effect op de meetresultaten gehad. Zoals wordt uitgelegd in paragraaf 4.1.4 zal bij een hoge grondwaterstand het inflatieproces stagneren. Er is geen aanwijzing geweest dat dit bij de infiltratiemetingen het geval was.

In Tabel 2 worden de grondwatertrappen van de verschillende wadi's weergegeven. Tijdens de metingen was het een relatief droge periode en werd er niet vanuit gegaan dat de grondwaterstand hoog was. Bij het uitvoeren van de grondboringen, zie paragraaf 6.1 was er maar één locatie waar grondwater werd aangetroffen. Dit was boring 20 in wadi L1, hier werd op 95 cm onder het maaiveld grondwater aangetroffen, zie Bijlage 4.

Tabel 2 Grondwatertrappen

Wadi	Grondwatertrap	Legenda		
		Grondwatertrap	Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (cm-mv)	Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (cm-mv)
L1	VII			
O1	VII			
O2	VII			
O4	VI			
O5	VII			
W1	V			
W2	V	V	<40	>120
W3	V			
W4	V	VI	40-80	>120
		VII	>80	-

(AHN, 2019) (Gemeente Nijmegen, 2021) (Universiteit van Wageningen, sd)

6 Combinatie van veld- en bureauonderzoek omgevingsfactoren

In dit hoofdstuk worden de onderzoekresultaten van het veld- en bureauonderzoek naar de omgevingsfactoren behandeld.

6.1 Bodem (onderzoek)

Zoals in paragraaf 4.2.1 is uitgelegd zijn er in samenwerking met het bedrijf Sweco op 20 locaties NEN 5104 grondboringen uitgevoerd. In totaal zijn er 22 grondboringen uitgevoerd, zoals is te zien in Tabel 3. In deze tabel staan de infiltratiemeetpunten met de corresponderende boorpunten. De kaarten van alle boorpunten zijn samen met de boorstaten te vinden in Bijlage 6, evenals een overzicht van de bevindingen die betrekking hebben op deze omgevingsfactor.

Tabel 3 Boorpunten

Infiltratie meetpunt	Boorpunten
W1 M4	1
W1 M3	2
W1 M1	3
W1 M2	4
W2 M2	5
W3 M4	6
W3 M2	7
W4 M3	8
W4 M2	9
O1 M3	10
O1 M1	11
O2 M3	12 & 12A
O2 M1	13 & 13A
O4 M4	14
O4 M1	15
O5 M1	16
L1 M6	17
L1 M5	18
L1 M4	19
L1 M1	20

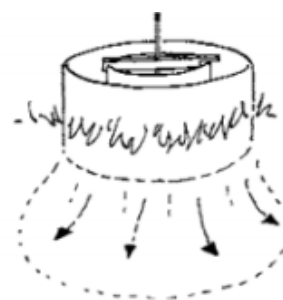
Bodemopbouw

De bodemopbouw van de onderzochte wadi's bestaat voornamelijk uit zandige en kleiige ondergronden:

- **Zand**
het zand dat is aangetroffen bij de grondboringen heeft een korrelgrootte van matig fijn tot zeer grof. Het zand varieert van zwak tot matig siltig en kan ook zwak tot sterk grindig zijn, met toevoegingen als humeus, stenen, roest en wortels.
- **Klei**
de aangetroffen kleilagen zijn zwak tot sterk zandig en matig tot sterk siltig. Bij sommige boringen was de klei zwak grindig, met toevoegingen als zand, humeus, roest en wortels.

Bodemopbouw tot 30 cm

In dit onderzoek is voornamelijk naar de eerste 30 cm van de boorprofielen gekeken. Dit is geen vaste norm, maar een vereenvoudiging die voor dit onderzoek is gemaakt. De reden dat er is gekozen voor de eerste 30 cm vanaf maaiveld, is dat een meting met een dubbele ringinfiltrometer een minder precieze weergave geeft van de infiltratiesnelheid van de diepere grondlagen. In Figuur 24 is een dubbele ringinfiltrometer weergegeven, waarin te zien is dat op grotere diepte het water meer horizontaal uitspreidt en dus invloed heeft op een rechte verticale meting. In Bijlage 6 E - tabel a staat omschreven of een infiltratiemeetpunt uit klei, zand of zand-klei ondergronden is opgebouwd. De beoordeling van de ondergronden is gemaakt op basis van de boorstaten in bijlage 6 C. Voor de infiltratiemeetpunten waar geen grondboring heeft plaatsgevonden is gekeken naar de resultaten van de dichtstbijzijnde boorlocatie.



Figuur 24 infiltratie proces

In Tabel 4 staat per wadi weergegeven welke grondsoort er voorkomt. In wadi O4 zijn twee grondboringen verricht. Bij de ene boring is zand en bij de andere boring is klei aangetroffen. De omschrijving gemengd zand-klei komt alleen voor in wadi W4. Hier zijn twee grondboringen verricht, die beiden een gemengde grondlaag van zand en klei laten zien.

Tabel 4 Bodemopbouw tot 30 cm per wadi

Bodemopbouw tot 30 cm									
Wadi	L1	O1	O2	O4	O5	W1	W2	W3	W4
Grondsoort	Klei	Klei	Klei	Zand en Klei	Klei	Zand	Zand	Zand	Gemengd Zand-Klei

Grondboringen boven drainagebuizen

Drie van de infiltratiemeetpunten zijn boven een drainagebuis in het midden van de wadi uitgevoerd. Een meting vond plaats in wadi O1 en de andere twee vonden plaats in wadi O2.

Bij twee van deze infiltratiemeetpunten zijn de metingen O2 M1 en O2 M3 uitgevoerd. Op beide locaties zijn twee boringen vlak naast elkaar uitgevoerd. Op boorpunten 12a en 13a zijn voorzichtig boringen uitgevoerd boven de drainagebuizen tot aan het drainagezand. Dit zijn boorpunten 12a en 13a, de boorstaten zijn weergegeven in Bijlage 4, evenals de boringen 12 en 13 die vlak naast de drainagebuis zijn gemaakt.

Op alle drie de infiltratiemeetpunten lagen de drainagebuizen op een diepte van 30 cm onder het maaiveld. Voor wadi O2 is dit bevestigd bij het uitvoeren van de grondboringen. Bij Wadi O1 is gekeken naar de slokop aan de noordzijde van de wadi en een put voor de drainagebuis aan de zuidzijde van de wadi. Een overzicht van de gegevens over de drainagemetingen is te zien in Bijlage 6 E - tabel a.

Bomen

Op de infiltratiemeetpunten die zich binnen een meter van een boom bevinden zijn geen grondboringen uitgevoerd. De redenen zijn om schade aan boomwortels te voorkomen en omdat het niet goed mogelijk is om grondboringen uit te voeren tussen de boomwortels. Een lijst met bomen waarnaast infiltratiemetingen zijn uitgevoerd is te vinden in Bijlage 6 E - tabel a.

6.2 Bodemverdichting door betreding (onderzoek)

In deze paragraaf is voor drie wadi's gekeken naar de mate van betreding. Dit zijn O4 en O5 in Nijmegen Oosterhout en L1 in Nijmegen Lent. Het onderzoek naar betreding in verband met Bodemverdichting is geheel indicatief en correlatief ingericht. Als indicatie wordt er een aanname gemaakt van de intensiteit van de betreding en vervolgens wordt er gekeken naar de infiltratiemetingen en de bodemopbouw. Om vergelijkingen mogelijk te maken worden aan de mate van betreding drie waarden toegerekend:

- **Weinig**
wordt niet dagelijks betreden
- **Matig**
wordt dagelijks betreden
- **Sterk**
wordt intensief dagelijks betreden

Nijmegen Oosterhout

In Bijlage 7 figuur f staan drie infiltratiemeetpunten in twee verschillende wadi's die met elkaar worden vergeleken. Dit zijn Wadi O4 en Wadi O5:

- **Wadi O5**
In deze wadi staat een speeltuin en is daarom beoordeeld als matig betreden.
- **Wadi O4**
Dit is een wadi zonder recreatieve waarde en heeft zelfs een heg aan de straatkant, waardoor de wadi niet direct vanaf de straat kan worden betreden. Dit maakt het onwaarschijnlijk dat hier veel betreding plaatsvindt, vandaar dat deze wadi als weinig betreden beoordeeld is.

In Tabel 5 staat een overzicht van de bevindingen uit de wadi's O4 en O5. Corresponderende infiltratiemeetpunten en boorstaten van deze tabel zijn te vinden in Bijlage 7 figuur e. De locaties O4 M4 en O5 M1 kunnen redelijk met elkaar worden vergeleken, waarbij O5 M1 in het matig betreden deel een lagere infiltratiesnelheid heeft dan O4 M4 in het weinig betreden deel.

Hoewel beide meetpunten een siltige kleibodem hebben, is de meting met de hogere infiltratiesnelheid gemaakt op een plek waar de eerste 20 cm sterk zandig is en de meting met een lagere infiltratiesnelheid op een bodem die geheel uit siltige klei bestaat.

Tabel 5 Wadi's O4 en O5 betreding

M: Infiltratiemetingen O4 en O5	Betreding	Infiltratiesnelheid in mm/min	B:Boorstaat nummer	Gemiddelde infiltratiesnelheid in mm/min per betredingscategorie
O4: M3	Weinig	0,41	-	0,23
O4: M4	Weinig	0,05	B14	
O5: M5	Matig	0,01	B16	0,01

Lent het Notenlaantje wadi L1

In Bijlage 7 figuur f staat een weergave van de betreding in wadi L1. De wadi is uitgekozen voor het onderzoek naar betreding, omdat verschillende delen van deze wadi in meer of mindere mate betreden worden. In deze wadi komen de eerder genoemde waarden van betreding weinig, matig en sterke betreding alle drie voor.

Weinig betreden

Het noordelijke deel van de wadi wordt naar verwachting weinig betreden. Dit deel van de wadi is niet erg breed en op de dagen dat er metingen werden uitgevoerd viel op dat er nagenoeg geen mensen in het noordelijke deel van de wadi rondliepen.

Matig betreden

Het zuidelijke deel van de wadi wordt dagelijks betreden. Naast het feit dat de kinderen uit wijk in deze wadi spelen, spelen de kinderen van basisschool De Verwondering iedere schooldag tenminste één uur in de wadi, zoals al eerder is opgemerkt in paragraaf 3.2. Sinds 8 februari 2021 mogen de kinderen door een verruiming van de coronamaatregelen weer naar school. Dit betekent dat iedere schooldag ongeveer 30 kinderen van de basisschool De Verwondering in de wadi spelen. De infiltratiemetingen in deze wadi zijn uitgevoerd op 13 en 14 april 2021, dus werd de wadi al twee maanden extra betreden.

Sterk betreden

Door het zuidelijke deel van de wadi loopt een olifantenpad dat gecategoriseerd is als sterk betreden. In Figuur 25 is te zien dat de ondergrond in dit specifieke deel van de wadi minder begroeiing heeft, dan in de rest van de wadi. Dit



Figuur 25 infiltratie meetlocatie L1 M6

is het gevolg van vertrapping door sterke

betreding. In Tabel 6 staat een overzicht van de bevindingen uit Wadi L1. Corresponderende infiltratiemeetpunten en de boorstaten van deze tabel zijn te vinden in Bijlage 7 figuur f.

Tabel 6 betredingscategorie

Infiltratiemetingen L1	Boorstaatnummer	Betreding	Infiltratiesnelheid in mm/min	Gemiddelde infiltratiesnelheid in mm/min per betredingswaarde
M3	-	Weinig	2,92	2,59
M5	18	Weinig	2,25	
M1	20	Matig	1,03	1,15
M2	-	Matig	0,68	
M4	19	Matig	2,44	
M7	-	Matig	0,44	
M6	17	Sterk	0,09	

Als gekeken wordt naar de bodemopbouw van de infiltratiemeetpunten van Bijlage 7 figuur f, is te zien dat de eerste 30 cm vanaf het maaiveld sterk met elkaar overeenkomen. Het is allemaal kleiige grond met op zijn hoogst variaties van klei zwak zandig tot klei matig siltig. De locatie waar de laagste infiltratiesnelheid is waargenomen, boorpunt 17, heeft een zwak zandige toplaag in tegenstelling tot andere meetlocaties waar een siltige toplaag is aangetroffen. Dit is opmerkelijk, omdat zand in een kleigrond namelijk de doorlatendheid van de bodem zou moeten stimuleren (Grondwaterformules, 2021). Naast betreding en de opbouw van de ondergrond is het ook mogelijk dat de aanwezigheid van drainagebuizen een rol speelt in de doorlatendheid van de bodem zoals, wordt aangegeven in de discussie, hoofdstuk 11.

6.3 Vegetatie (onderzoek)

In totaal zijn er op de 36 verschillende meetlocaties 24 verschillende soorten planten aangetroffen. Dit betreft voor het grootste deel hogere planten, maar er zijn ook twee soorten mos aangetroffen. Met betrekking tot de bomen waarnaast metingen zijn uitgevoerd, gaat het met name om twee soorten, namelijk de zwarte els en de gewone es. Twee van de meetlocaties liggen in het Biezenbos, zie paragraaf 3.4. Dit bos bestaat uit 33 verschillende soorten jonge bomen die allemaal binnen 1 meter van elkaar staan. Er is niet verder onderzocht welke soorten dit zijn. Een overzicht van alle aangetroffen vegetatie is weergegeven in Bijlage 8.

6.4 Onderhoud (onderzoek)

De onderzochte wadi's worden op verschillende manieren onderhouden. Het maaibeeld is onder te verdelen in vier soorten onderhoud, zoals is te zien in Tabel 7. De Informatie over het onderhoud van de wadi's is afkomstig van Bas de Beijer (Kwaliteitsbeheerder Groen gemeente Nijmegen). Alleen de onderhoudsinformatie van wadi L1 is afkomstig van het programma Atlas.

De afgelopen jaren heeft de gemeente besloten het maaibeheer te verbeteren en ecologisch te versterken. Om die reden heeft de gemeente besloten om minder te gaan maaien. Zo komt er meer ruimte voor bloemen, planten, bijen en andere insecten (Gemeente Nijmegen, 2021).

Tabel 7 Soorten onderhoud

Soort onderhoud	Hoe vaak wordt het maai-onderhoud gepleegd	Wie pleegt onderhoud	Wadi's
Beheerniveau B wordt beheerd als gazon Intensief onderhoud	Meer dan 20 keer per jaar	Gemeente	O1, O2, O5, L1
Wordt beheerd als kruidenrijke vegetatie Extensief onderhoud	2 keer per jaar in juni en september	Gemeente	W1, W3
Wordt beheerd als kruidenrijke vegetatie Extensief onderhoud	1 keer per jaar in september	Gemeente	O4, W2
Participatie Extensief onderhoud	1 keer per jaar in september	Buurtbewoners	W4

(Gemeente Nijmegen, 2021)

Onderhoud op beheerniveau B

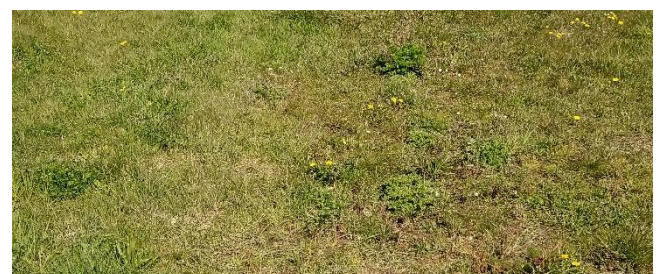
Dit is een beheerniveau gebaseerd op een onderhoudssfeerbeeld uit de Kwaliteitscatalogus openbare ruimte 2018 van het CROW. De wadi's worden onderhouden als gazons, waarbij de eis is dat het gras korter of gelijk is aan 60 mm zoals is te zien in Figuur 26. Om dit sfeerbeeld in een wadi te behouden wordt meer dan 20 keer per jaar gemaaid. Van de onderzochte wadi's komt beheerniveau B voor in Nijmegen Oosterhout en Nijmegen Lent (CROW, 2018).

A+	A	B	C	D
				
Het gazon ziet er zeer strak gemaaid uit.	Het gazon ziet er strak gemaaid uit.	Het gazon ziet er redelijk strak gemaaid uit.	Het gazon ziet er nauwelijks strak gemaaid uit.	Het gazon ziet er niet strak gemaaid uit.
hoogte gras ≤ 40 mm	hoogte gras ≤ 50 mm	hoogte gras ≤ 60 mm	hoogte gras ≤ 70 mm	hoogte gras > 70 mm

Figuur 26 Beheerniveau B

Onderhoud kruidenrijke vegetatie

Hier wordt extensief beheer gepleegd, waarbij de vegetatie slechts 1 a 2 keer per jaar wordt gemaaid. Dit soort onderhoud komt voor in de wadi's van het Westerpark en wadi O4 in Nijmegen Oosterhout. Figuur 27 toont een sfeerbeeld om duidelijk te maken hoe de vegetatie in een wadi met dit onderhoud er uit kan zien.



Figuur 27 Vegetatie wadi O4

Op de plekken waar dit maaibeheer wordt toegepast, wordt het maaisel na een paar dagen afgevoerd. De aanwezige insecten krijgen zo de tijd om weg te kruipen. Door het afvoeren

verschraalt de grond. Zo gaan er meer bloemen en kruiden groeien en minder gras (Gemeente Nijmegen, 2021).

Participatie

Dit is een vorm van onderhoud waarbij bewoners uit de buurt de wadi onderhouden. Dit soort onderhoud is alleen van toepassing op wadi W4 die tegen de rand van het Westerpark ligt. Zoals wordt uitgelegd in paragraaf 3.4 is in 2019 door kinderen van Kindcentrum Aquamarijn in Nijmegen een klein bos geplant. Deze wadi wordt hoogstwaarschijnlijk 1 keer per jaar in september onderhouden, maar dit is niet met zekerheid te zeggen. In Figuur 28 is een sfeerbeeld te zien hoe de grond rondom het kleine bos er uit ziet.



Figuur 28 Vegetatie Wadi W4

7 Invloed van omgevingsfactoren

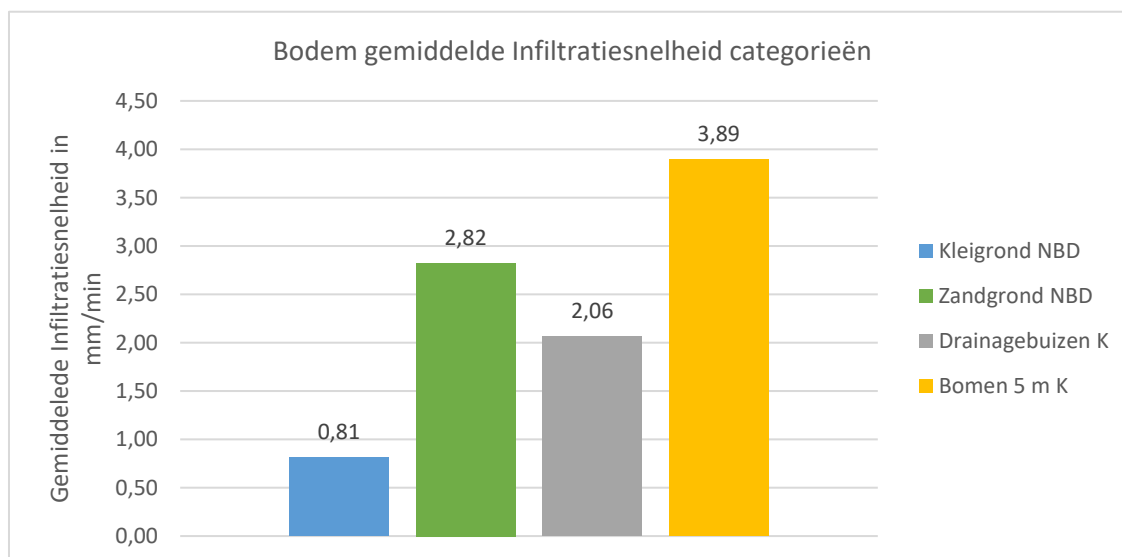
In dit rapport zijn gegevens verzameld over de verschillende omgevingsfactoren die invloed hebben op de infiltratiesnelheid. Hoewel deze factoren niet los van elkaar gezien kunnen worden bij het infiltratieproces en ze allemaal een effect hebben, is toch geprobeerd om de verschillende omgevingsfactoren apart te benaderen zoals is omschreven in paragraaf 4.3. Een overzicht van alle categorieën is te vinden in Bijlage 10 A.

7.1 Bodem

In deze paragraaf wordt uitgelegd hoe de verschillende bevindingen in de omgevingsfactor Bodem zijn gecategoriseerd en geanalyseerd.

7.1.1 Bodem (categorisering)

In totaal zijn er in de omgevingsfactor Bodem vier categorieën gemaakt. Deze categorieën zijn gemaakt om mogelijke verbanden tussen de infiltratiesnelheid, de bodemopbouw en de aanwezige elementen te onderzoeken. Bij het maken van categorieën in de omgevingsfactor Bodem is gebruik gemaakt van de bevindingen uit Bijlage 6 E - tabel a. De infiltratiemeetresultaten die bij elke categorie horen zijn te vinden in Bijlage 10 B - tabel a en in Figuur 30. De gemiddelde waarden van de infiltratiemeetresultaten worden hieronder per categorie weergegeven, zie Figuur 29.



Figuur 29 Bodem gemiddelde infiltratiesnelheid categorieën

Bodemopbouw tot 30 cm

Bij het maken van de categorieën in de omgevingsfactor Bodem is voornamelijk gekeken naar het verschil tussen kleiige en zandige bodems. Hierbij zijn de infiltratiemeetpunten die als zand-klei gronden zijn beoordeeld, zie Bijlage 6 E - tabel a, meegenomen in de categorieën met zowel zandige als kleiige bodems.

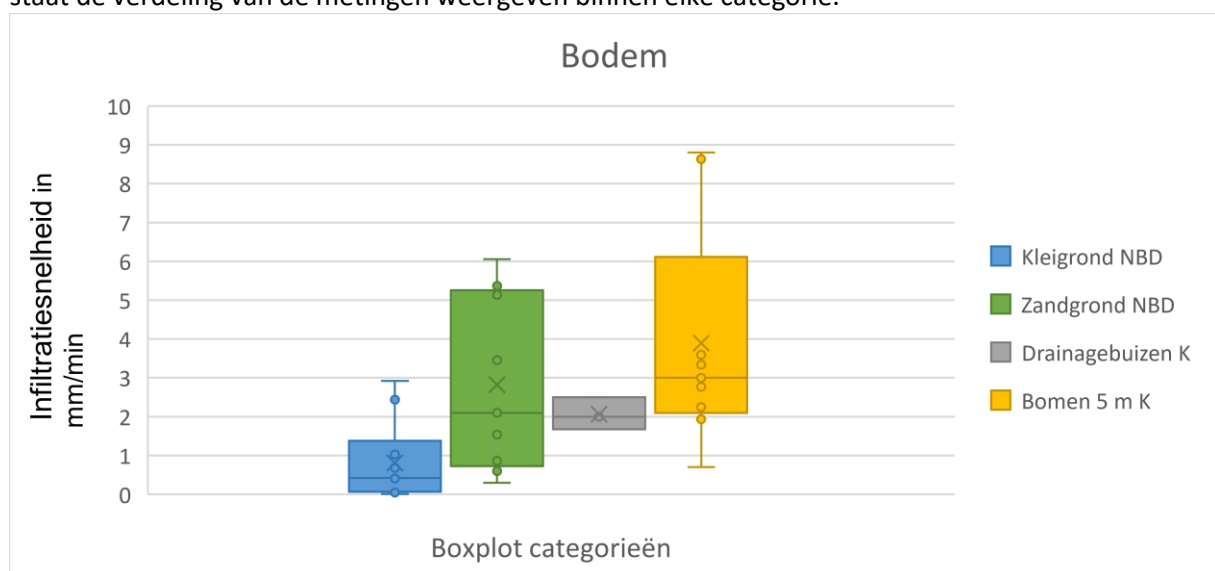
Hieronder staan de vier categorieën omschreven:

- **Kleigrond NBD (Kleigrond - Niet naast bomen of boven drainagebuizen)**
Deze categorie is gemaakt om alleen het effect van kleigrond in de wadi bodem te onderzoeken.

- **Zandgrond NBD (Zandgrond - Niet naast bomen of boven drainagebuizen)**
Deze categorie is gemaakt om het effect van wadi's met een bodem van zandgrond te onderzoeken.
- **Drainagebuizen K (Metingen boven drainagebuizen op kleigrond)**
Deze categorie is gemaakt om het effect van drainagebuizen te bekijken. Alle metingen boven drainagebuizen zijn uitgevoerd op ondergronden waarbij de eerste 30 cm uit kleigrond bestaat, vandaar dat ook de grondsoort is aangegeven.
- **Bomen 5 m K (Naast bomen tot en met een afstand van 5 m op kleigrond)**
Deze categorie bevat zowel de metingen van de meetpunten op een afstand van één meter naast een boom als de metingen tot een afstand van vijf meter naast een boom. Alle metingen hebben plaatsgevonden op een bodem die voor de eerste 30 cm uit kleiige grond bestaat. Deze categorie is gemaakt om het effect van bomen op kleigrond te bekijken.

7.1.2 Bodem (analyse)

In deze paragraaf worden vergelijkingen gemaakt met betrekking tot de bodem. Voor deze vergelijking is gebruik gemaakt van de categorieën uit paragraaf 7.1.1. In de boxplot van Figuur 30 staat de verdeling van de metingen weergegeven binnen elke categorie.



Figuur 30 Bodem Boxplot

In de boxplot van Figuur 30 is er een sterke spreiding te zien in de infiltratiesnelheid van de categorieën. Dit betekent, dat de infiltratiemeetwaarde binnen de categorieën sterk kan verschillen.

Statistisch categorieën vergelijken (Kruskal-Wallis 1-way ANOVA)

Alle resultaten van de Kruskal-Wallis 1-way ANOVA test zijn weergegeven in Bijlage 10 B. In Bijlage 10 B - tabel d staan alle mogelijke vergelijkingen tussen de categorieën in de omgevingsfactor Bodem. Hierbij is gebruik gemaakt van de Pairwise Comparisons of Categorie test. Deze test is een onderdeel van de Kruskal-Wallis 1-way ANOVA test.

In Tabel 8 staan vergelijkingen waarin de doorlatendheid van kleigrond wordt vergeleken met de doorlatendheid van bomen en drainagebuizen op kleigrond en met zandgrond.

Tabel 8 Bodem Pairwise Comparisons of Categorie

Pairwise Comparisons of Categorie		
Sample 1	Sample 2	Significantie
Kleigrond NBD	Drainagebuizen K	0,172
Kleigrond NBD	Zandgrond NBD	0,021
Kleigrond NBD	Bomen 5 m K	0,001
Een significantie van lager dan 0,05 geeft aan dat er een significant verschil is tussen de vergeleken categorieën. Significante verschillen zijn met de kleur rood weergegeven.		

Vergelijkingen op kleigrond

In Tabel 8 en Figuur 30 worden de categorieën die op kleigrond zijn gemeten met elkaar vergeleken. Hieronder wordt een toelichting geven op de volgende categorieën:

- Kleigrond NBD**
 het grootste deel van de metingen die zijn uitgevoerd op kleiige grond laten een infiltratiesnelheid zien die onder de 1 mm/min ligt. De hoogst gemeten infiltratiesnelheid is 2,92 mm/min en de laagst gemeten infiltratiesnelheid is 0,01 mm/min. Twee metingen laten een infiltratiesnelheid zien van 2,44 mm/min en 2,92 mm/min. Beide metingen zijn in een deel van wadi L1 uitgevoerd dat weinig betreden wordt.
- Drainagebuizen**
 Hierbij is te zien dat deze categorie gemiddeld een infiltratiesnelheid van rond de 2 mm/min heeft en dat de individuele metingen hier niet sterk van afwijken. Dit is gemiddeld genomen een hogere infiltratiesnelheid dan categorie kleigrond NBD.
- Bomen 5 m K**
 In de categorie Bomen 5 m K wordt voor meeste metingen een infiltratiesnelheid tussen de 2 mm/min en de 3,5 mm/min gemeten, met uitschieters aan beide kanten. Het gemiddelde van de infiltratiemetingen is deze categorie is 3,89 mm/min en dit is inclusief de uitschieters naar boven en naar beneden. Bijna alle metingen van categorie Bomen 5 m K laten een hogere infiltratiesnelheid zien dan de metingen van kleigrond NBD.

Zandgrond NBD en Kleigrond NBD

Zoals is te zien in zijn gemiddeld genomen de gronden waarvan de eerste 30 cm uit kleiige grond bestaat minder doorlatend dan de gronden waarvan de eerste 30 cm uit zandgrond bestaat. Er zijn echter enkele uitschieters die als kleigrond zijn beoordeeld met een hogere doorlatendheid dan zandgrond.

7.1.3 Bodem (resultaat)

In deze paragraaf worden de resultaten besproken uit paragraaf 7.1.2

Bomen

Uit de vergelijkingen met bomen op verschillende ondergronden blijkt dat de aanwezigheid van bomen een effect heeft op de infiltratiesnelheid. De meeste infiltratiemetingen naast bomen zijn uitgevoerd op kleiige grond. Uit deze gegevens blijkt dat bomen een bevorderend effect hebben op de infiltratiesnelheid bij kleiige ondergronden met infiltratiesnelheden die voornamelijk tussen de 2 mm/min en de 3,5 mm/min liggen. Over het effect dat bomen op zandgrond op de infiltratiesnelheid hebben, kan geen uitspraak worden gedaan, omdat hierover te weinig informatie beschikbaar was.

Drainagebuizen

Aangezien alle drie de metingen boven drainagebuizen op een kleiige ondergrond hebben plaatsgevonden, kan er met minder zekerheid een uitspraak worden gedaan over het verschil in infiltratiesnelheid tussen kleiige gronden met en zonder drainagebuizen. Wel kan worden gezegd dat de drie metingen een infiltratiesnelheid rond de 2 mm/min laten zien, wat gemiddeld genomen hoger is dan bij metingen op kleigrond zonder drainagebuizen.

Slecht doorlatende ondergronden

Er zijn een paar meetpunten in wadi's met een kleiige ondergrond waar lage infiltratiewaardes zijn gemeten. Aangezien infiltratie een van de hoofdfuncties van een wadi is, laten deze metingen zwakke plekken in de wadi's zien. In Tabel 9 staan vijf infiltratiemeetpunten met een slecht doorlatende ondergrond. Bij deze infiltratiemeetpunten spelen meerdere omgevingsfactoren een rol. Zo speelt verdichting door betreding een rol bij de meetpunten L1 M6 en O5 M1. Het effect van betreding op deze locaties is terug te vinden in paragraaf 7.2. Dit onderwerp komt terug in paragraaf 8.1.

Tabel 9 slecht doorlatende ondergrond

Infiltratiemeetpunt	Infiltratiesnelheid in mm/min
L1 M6	0,09
O1 M3	0,07
O4 M4	0,05
O5 M1	0,01
W4 M1	0,22

7.2 Bodemverdichting door betreding

In deze paragraaf wordt uitgelegd hoe de verschillende bevindingen in de omgevingsfactor Bodemverdichting door betreding zijn gecategoriseerd en geanalyseerd.

7.2.1 Bodemverdichting door betreding (categorisering)

De onderstaande categorieën zijn gebaseerd op de waardes weinig, matig en sterk uit paragraaf 6.2:

- **Weinig**
Wordt niet dagelijks betreden
- **Matig**
Wordt dagelijks betreden
- **Sterk**
Wordt intensief dagelijks betreden

7.2.2 Bodemverdichting door betreding (analyse)

Nijmegen Oosterhout wadi's O4 en O5.

De mate van betreding, bijbehorende boorstaten en de gebruikte infiltratiemetingen van de wadi's O4 en O5 zijn te vinden op de kaart in Bijlage 7 figuur a.

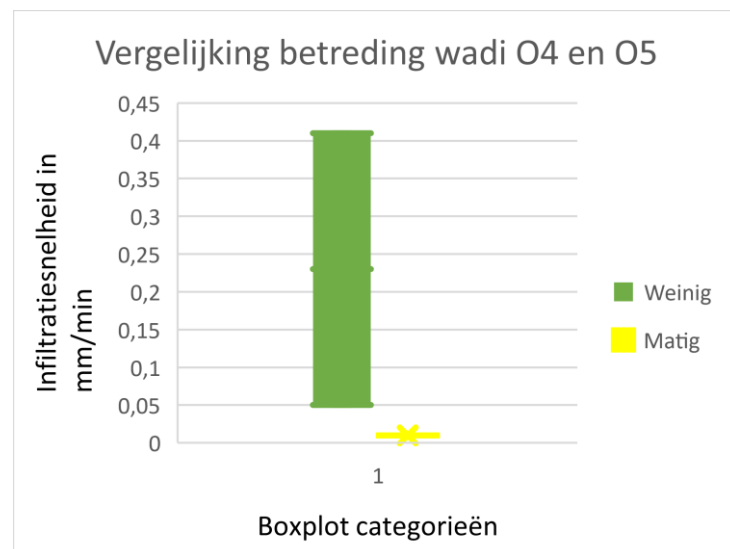
Vergelijken infiltratiesnelheid wadi O4 en O5

Uit het onderzoek komt naar voren dat er een verschil is in infiltratiesnelheid tussen de matig en weinig betreden wadi's. Waar de matig betreden wadi O5 een zeer lage infiltratiesnelheid heeft van 0,01 mm/min, heeft de weinig betreden wadi O4 een gevarieerde infiltratiesnelheid van 0,05 t/m 0,41 mm/min. De infiltratiesnelheid per betredings-categorie staat weergegeven in Figuur 31.

Betreding in verband met bodemopbouw wadi O4 en O5

Voor deze vergelijking is rekening gehouden met de bodemopbouw en zijn alleen locaties uitgekozen met een kleiondergrond. Van het infiltratiemeetpunt O4 M3 was geen boorprofiel beschikbaar. De reden dat deze meting toch is meegenomen in de vergelijking, is omdat deze op een korte afstand (5 meter) van infiltratiemeetpunt O4 M4 is gemaakt en dus waarschijnlijk een vergelijkbare bodemopbouw heeft. Bij infiltratiemeetpunt O4 M4 hoort boorstaat B14 zie Bijlage 7 figuur a.

Boorstaat B14 van wadi O4 en B16 van wadi O5 laten beiden een siltige kleibodem zien. Boorstaat B14 laat wel zien dat de eerste 20 cm vanaf maaiveld sterk zandig is. Boorstaat B16 laat zien dat de bodem geheel uit siltige klei bestaat. Siltige klei is minder doorlatend dan sterk zandige klei (Grondwaterformules, 2021).



Figuur 31 Vergelijking betreding wadi O4 en O5

Nijmegen Lent wadi L1

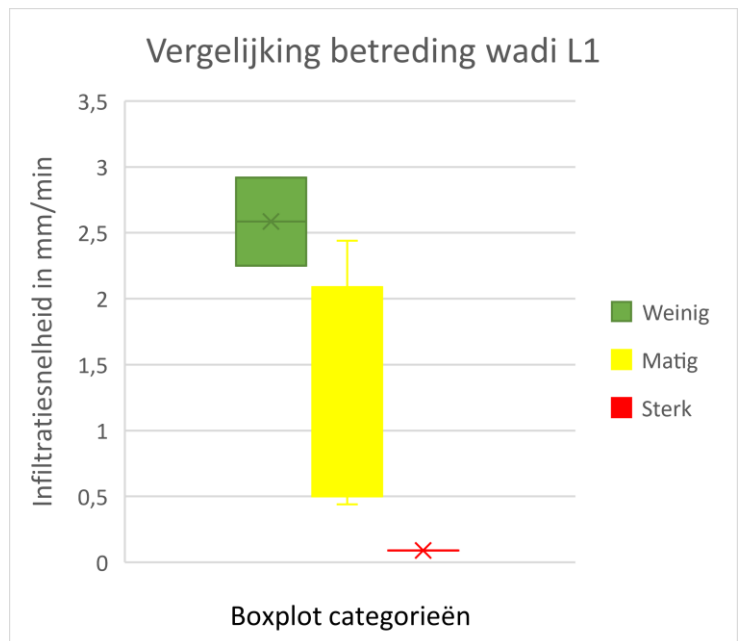
De mate van betreding, bijbehorende boorstaten en de gebruikte infiltratiemetingen van wadi L1 zijn te vinden op de kaart in Bijlage 7 figuur b.

Vergelijken infiltratiesnelheid wadi L1

Uit het onderzoek komt naar voren dat alle drie de waarden in wadi L1 voorkomen, zoals is te zien in Figuur 32.

De hoogste infiltratiesnelheden zijn gemeten in het weinig betreden deel, de laagste infiltratiesnelheid in het sterk betreden deel en matig betreden zit daar tussen.

Zoals is te zien in Figuur 32 en is maar één meting die afwijkt. Dat is een infiltratiemeting van 2,44 mm/min op het infiltratiemeetpunt L1 M4 in het matig betreden deel van de wadi. Dit punt kent een hogere infiltratiesnelheid dan de meting uit het weinig betreden deel met een infiltratiemeting van 2,25 mm/min, zie Bijlage 7 figuur c.



Figuur 32 Vergelijking betreding wadi L1 Boxplot

Betreding in verband met bodemopbouw

Zoals is te zien in Bijlage 7 figuur d is de bodem van wadi L1 voor de eerste 30 cm vanaf maaiveld op alle boorlocaties nagenoeg gelijk. Het is allemaal kleigrond met op zijn hoogst variaties van klei zwak zandig tot klei matig siltig.

Op het infiltratiemeetpunt L1 M6 is de laagste infiltratiesnelheid waargenomen. Infiltratiemeetpunt L1 M6 ligt in het sterk betreden deel van de wadi. Op dit infiltratiemeetpunt heeft ook een grondboring (boorlocatie 17) plaatsgevonden. Boorstaat 17 laat een zwak zandige toplaag zien in tegenstelling tot andere boorlocaties, waar een siltige toplaag is aangetroffen

7.2.3 Bodemverdichting door betreding (resultaat)

In deze paragraaf staan de resultaten van de analyse.

Resultaat wadi O4 en wadi O5

Het effect dat betreding heeft op het infiltratieproces komt niet duidelijk naar voren, omdat het verschil in infiltratiesnelheid zowel door betreding als door de bodemopbouw kan zijn veroorzaakt.

Resultaat wadi L1

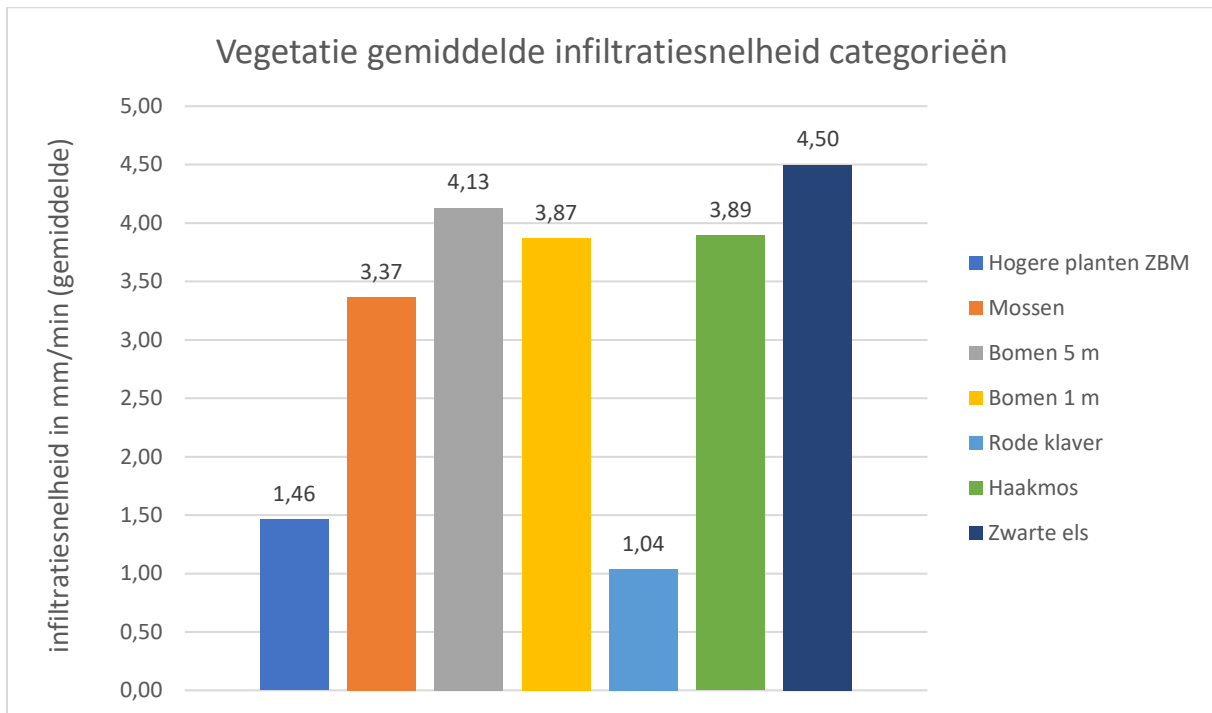
Op basis van de gegevens kan de conclusie worden getrokken dat een sterke betreding zorgt voor een minder hoge infiltratiesnelheid. Bij matige betreding is er wel een indicatie dat betreding een effect heeft op de infiltratiesnelheid, maar dit effect is minder goed meetbaar.

7.3 Vegetatie

In deze paragraaf wordt uitgelegd hoe de verschillende bevindingen in de omgevingsfactor Vegetatie zijn gecategoriseerd en geanalyseerd.

7.3.1 Vegetatie (categorisering)

In totaal zijn er zeven categorieën gemaakt in de omgevingsfactor Vegetatie. Deze categorieën zijn gemaakt om mogelijke verbanden tussen infiltratiesnelheid en vegetatie zichtbaar te maken. De infiltratiemeetresultaten die gebruikt zijn in deze categorieën staan in Bijlage 10 C. De gemiddelde infiltratiesnelheden per categorie staan hieronder weergegeven in Figuur 33.



Figuur 33 Vegetatie gemiddelde Infiltratiesnelheid categorieën

Vier categorieën bestaan uit samengevoegde groepen van verschillende plantsoorten. De planten binnen deze categorieën behoren tot verschillende stammen in de taxonomie, zoals hogere planten en mossen of hebben een aparte positie ten opzichte van de meetlocaties, zoals de bomen die binnen één of vijf meter van de meetlocaties staan. Wat de inhoud is van deze categorieën wordt hieronder uitgelegd. Het betreft de categorieën Hogere planten ZBM, Mossen, Bomen 1 m en Bomen 5 m:

- **Hogere planten ZBM (zonder bomen en mossen)**
De reden dat bij de hogere planten extra is aangegeven zonder bomen en mossen, is omdat bij elke meetlocatie hogere planten zijn aangetroffen en bomen in de taxonomie ook tot de hogere planten worden gerekend. Om een vergelijking met de andere categorieën mogelijk te maken, zijn de gegevens van de meetlocatie's waar mossen zijn aangetroffen en bomen in de buurt staan, uit deze groep verwijderd. Verder omvat deze groep alle overige infiltratiemeetpunten en is daarom gebruikt om de andere categorieën van de omgevingsfactor Vegetatie mee te vergelijken.
- **Mossen**
Deze categorie bevat alle infiltratiemetingen waar mossen zijn aangetroffen.

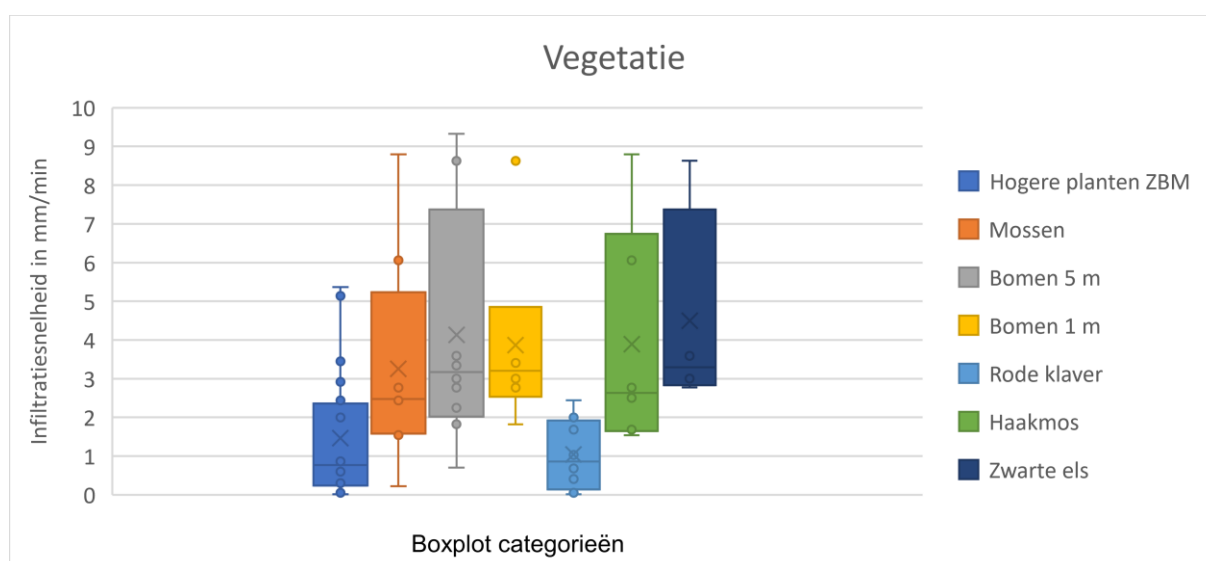
- **Bomen 1 m (binnen een afstand 1 m)**
Deze categorie bevat alleen de infiltratiemetingen die binnen een afstand van 1 meter van een boom plaatsvonden. Met uitzondering van de infiltratiemetingen M3 en M4 in wadi W4, omdat de jonge bomen in deze wadi twee jaar oud zijn en nog geen uitgebreid wortelstelsel hebben.
- **Bomen 5 m (binnen een afstand 5 m)**
Deze categorie bevat alle infiltratiemetingen die binnen een afstand van vijf meter van een boom plaatsvonden. Dus ook de infiltratiemetingen die in categorie Bomen 1 m voorkomen en de infiltratiemetingen M3 en M4.

Drie categorieën zijn gemaakt op basis van plantsoorten met opmerkelijke metingen. Dit zijn Rode klaver, Haakmos en Zwarte els:

- **Rode klaver (*Trifolium pratense*)**
In dit onderzoek wordt rode klaver alleen aangetroffen op kleiige ondergronden en zou daarmee mogelijk een indicator kunnen zijn voor slecht doorlatende grond. Het is wel zo de rode kalver een van de 40 meest algemeen voorkomende planten in Nederland is (Flora van Nederland, 2021).
- **Haakmos (*Rhytidiadelphus*)**
Haakmos komt voor op een aantal meetpunten met relatief hoge infiltratiesnelheid. Deze plantsoort is zowel op kleiige - als zandondergronden aangetroffen.
- **Zwarte els (*Alnus glutinosa Pyramidalis*)**
Zwarte els is een boomsoort die bij een aantal meetpunten met een relatief hoge infiltratiesnelheid voorkomt. Deze boomsoort is alleen op kleiige grond aangetroffen.

7.3.2 Vegetatie (analyse)

In deze paragraaf worden vergelijkingen gemaakt betreffende vegetatie. Deze vergelijkingen laten zien of er binnen de aangetroffen vegetatie een opmerkelijk verschil is in de infiltratiesnelheid. De infiltratiemeetresultaten die bij elke onderzochte categorie horen zijn te vinden Bijlage 10 C. In de boxplot van Figuur 34 worden de meetresultaten van de infiltratiemetingen per categorie weergegeven.



Figuur 34 Vegetatie Boxplot

Statistisch categorieën vergelijken (Kruskal-Wallis 1-way ANOVA)

Alle resultaten van de Kruskal-Wallis 1-way ANOVA test zijn weergegeven in bijlage 10 C. In Bijlage 10 C - tabel i staan alle mogelijke vergelijkingen tussen de categorieën van de omgevingsfactor Vegetatie. Hierbij is gebruik gemaakt van de Pairwise Comparisons of Categorie test. Deze test is een onderdeel van de Kruskal-Wallis 1-way ANOVA test.

In Tabel 10 staan vergelijkingen waarin de infiltratiesnelheid van de meetpunten met verschillende vegetatie met elkaar worden vergeleken.

Tabel 10 Vegetatie Pairwise Comparisons of Categorie

Pairwise Comparisons of Categorie		
Sample 1	Sample 2	Significantie
Hogere planten ZBM	Rode klaver	0,552
Hogere planten ZBM	Mossen	0,097
Hogere planten ZBM	Haakmos	0,036
Hogere planten ZBM	Bomen 5 m	0,002
Hogere planten ZBM	Bomen 1 m	0,007
Hogere planten ZBM	Zwarte els	0,008

Een significantie van lager dan 0,05 geeft aan dat er een significant verschil is tussen de vergeleken categorieën. Significante verschillen zijn met de kleur rood weergegeven.

Vergelijking categorieën

Bij het onderling vergelijken van de verschillende soorten vegetatie is de categorie Hogere planten ZBM als maatstaf uitgekozen om een mogelijk verschil aan te tonen. Hieronder wordt een toelichting geven op de volgende categorieën:

- **Mossen**
Hier is geen significant verschil gevonden met de categorie Hogere planten ZBM. Er is ook verder geen onderzoek bekend dat laat zien dat er een mogelijk verband zou zijn tussen de infiltratiesnelheid en mossen.
- **Bomen 5 m**
Uit de vergelijking blijkt dat de categorie Bomen 5 m een significant verschil laat zien met de categorie Hogere planten ZBM. De infiltratiesnelheid van de categorie Bomen 5 m is hoger dan bij de categorie Hogere planten ZBM. Gemiddeld genomen is de infiltratiesnelheid van deze categorie 4,13 mm/min, maar deze categorie kent ook grote uitschieters.
- **Bomen 1 m**
Uit de vergelijking blijkt dat de categorie Bomen 1 m een significant verschil laat zien met de categorie Hogere planten ZBM. De infiltratiesnelheid van de categorie Bomen 1 m is hoger dan bij de categorie Hogere planten ZBM. Er zijn een paar uitschieters binnen deze categorie, maar de meeste metingen laten een infiltratiesnelheid van tussen de 2 mm/min en de 3,5 mm/min zien.

- **Rode klaver**
De categorie Rode klaver laat geen significant verschil zien met de categorie Hogere planten ZBM. Rode klaver is alleen aangetroffen op plekken waar de grond voor de eerste 30 cm uit kleigrond bestaat.
- **Haakmos**
De vergelijking tussen de categorie Hogere planten ZBM en de categorie Haakmos laat een significant verschil zien. Op de plekken waar haakmos is aangetroffen waren metingen met de hoogste infiltratiesnelheid 8,8 mm/min en metingen met de laagste infiltratiesnelheid 1,68 mm/min.
- **Zwarte els**
De vergelijking tussen de categorie Hogere planten ZBM en de categorie Zwarte elsen laat een significant verschil zien. De infiltratiesnelheid van de categorie zwarte elsen is hoger dan bij de categorie Hogere planten ZBM. De meeste metingen laten een infiltratiesnelheid van tussen de 2 mm/min en de 3,5 mm/min zien, maar er zijn een paar uitschieters binnen deze categorie.

7.3.3 Vegetatie (resultaat)

In deze paragraaf staan de resultaten van de analyse.

Bomen in verband met goede doorlatendheid

Vanuit de categorieën Bomen 5 m, Bomen 1 m en Zwarte els is er gekeken naar de invloed van bomen op het infiltratieproces. Er lijkt steeds een verschil te zijn tussen meetlocaties met en zonder bomen. Hierbij hebben de infiltratiemeetpunten naast bomen bijna altijd een hogere infiltratiesnelheid dan de locaties zonder bomen.

De infiltratiemetingen van de categorie Bomen 5 m kennen een grote spreiding, daarom is niet vast te stellen wat het effect binnen 5 meter van een boom is. Wel dat de categorieën Bomen 1 m en Zwarte els, die voor een groot deel uit dezelfde meetresultaten bestaan, voornamelijk een infiltratiesnelheid tussen 2 mm/min en de 3,5 mm/min hebben. Dit is een indicatie voor de infiltratiesnelheid binnen een straal van één meter van een boom.

Haakmos in verband met goede doorlatendheid

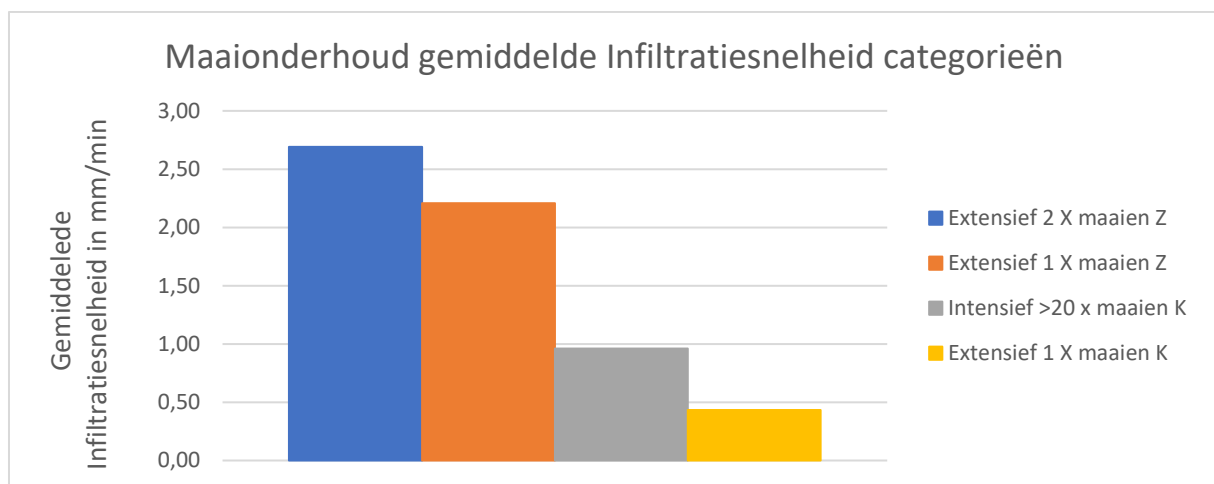
De metingen waar haakmos is aangetroffen laten een verband zien met goed doorlatende ondergronden. Hoewel er wel een sterke variatie is met betrekking tot de infiltratiesnelheid, is zelfs de laagst gemeten infiltratiesnelheid van 1,54 mm/min, hoger dan het gemiddelde van de categorie Hogere planten ZBM.

7.4 Onderhoud

In deze paragraaf wordt uitgelegd hoe de verschillende bevindingen in de omgevingsfactor Onderhoud zijn gecategoriseerd en geanalyseerd. Hierbij is rekening gehouden met de grondsoort waarop het maaionderhoud plaatsvindt.

7.4.1 Onderhoud (categorisering)

Er zijn vier categorieën onderhoud gemaakt, om de verschillende soorten onderhoud met elkaar te kunnen vergelijken. De categorieën zijn onderverdeeld op basis van de frequentie van het maaionderhoud en de grondsoort die voorkomt in de eerste 30 cm vanaf het maaiveld. Het gemiddelde van de categorieën is hieronder weergegeven in Figuur 35.



Figuur 35 Maaionderhoud gemiddelde Infiltratiesnelheid categorieën

Categorieën

Er is een onderverdeling gemaakt tussen metingen op klei- en zandbodems. De tabellen met informatie over de gebruikte meetgegevens zijn te vinden in Bijlage 10 C - tabel i.

Kleibodems

Op kleibodems komen, gelet op het maaibeleid, twee soorten onderhoud voor: Intensief onderhoud waarbij meer als 20 keer per jaar wordt gemaaid en extensief onderhoud waarbij maar één keer per jaar wordt gemaaid:

- **Intensief >20 x maaien K (meer dan 20 keer maaien per jaar onderhoud op kleigrond)**
Deze categorie bevat metingen van de wadi's L1, O1 en O5.
- **Extensief 1 x maaien K (1 keer maaien per jaar onderhoud op kleigrond)**
Deze categorie bevat metingen van de wadi's O4 en W4.

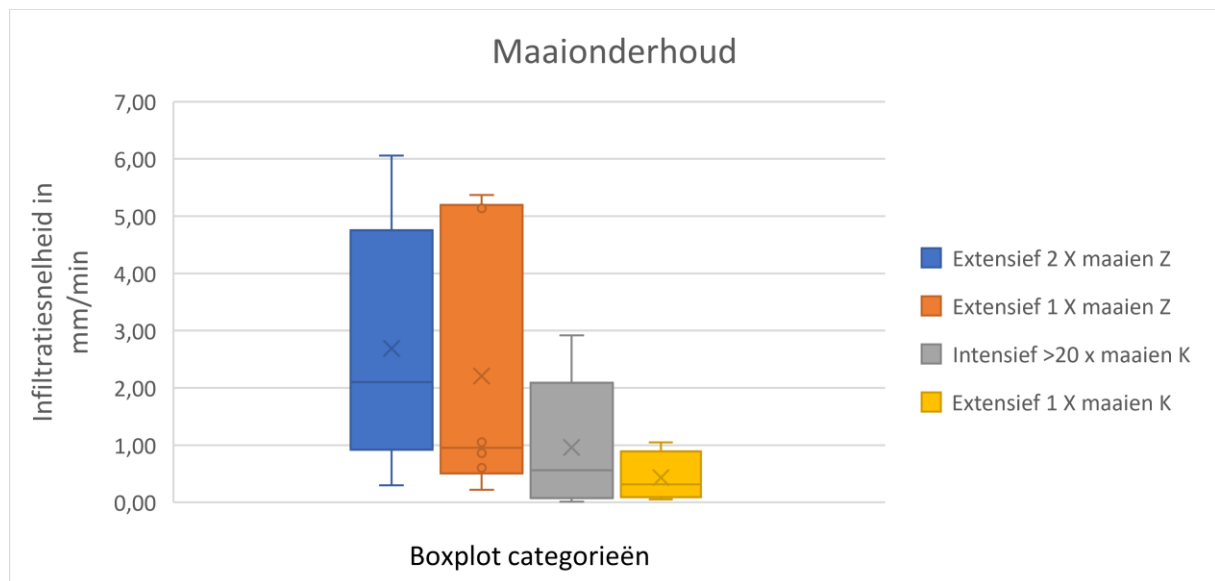
Zandbodems

De wadi's met een zandbodem worden of één of twee keer per jaar gemaaid. Deze beide vormen van onderhoud tellen als extensief onderhoud:

- **Extensief 2 x maaien Z (2 keer maaien per jaar onderhoud op zandgrond)**
Deze categorie bevat metingen van de wadi's W1 en W3.
- **Extensief 1 x maaien Z (1 keer maaien per jaar onderhoud op zandgrond)**
Deze categorie bevat metingen van de wadi's O4, W2 en W4.

7.4.2 Onderhoud (analyse)

In deze paragraaf worden vergelijkingen gemaakt met betrekking tot het maaionderhoud. In Figuur 36 wordt de verdeling van de metingen weergegeven per onderhoudscategorie.



Figuur 36 Maaionderhoud Boxplot

Zoals is te zien in Figuur 36 is de marge van de infiltratiesnelheden op zandgrond groter dan bij kleiige ondergronden. Dit betekent dat de infiltratiemeetwaarden binnen de categorieën op zandige grond van elkaar verschillen.

Statistisch vergelijken categorieën (Kruskal-Wallis 1-way ANOVA)

De categorieën van de omgevingsfactor Onderhoud zijn met de statistische test Kruskal-Wallis 1-way ANOVA vergeleken om te zien of er significante verschillen zijn tussen de categorieën. Alle resultaten van deze test zijn weergegeven in Bijlage 10 D.

De Kruskal-Wallis 1-way ANOVA test geeft aan dat geen van de categorieën significant van elkaar verschillen, daarom is er geen Pairwise Comparisons of Categorie uitgevoerd. De categorieën verschillen niet sterk van elkaar.

De onderhoudsvormen van extensief maaionderhoud vergelijken op zandgrond

Zoals is te zien in Figuur 36 zijn er geen grote verschillen tussen de vormen van onderhoud voor extensief onderhoud. Grote verschillen werden ook niet verwacht, aangezien de twee onderhoudsvormen erg sterk op elkaar lijken.

Intensief met extensief maaionderhoud vergelijken op kleigrond

Zoals is te zien in Figuur 36 lijkt er een verschil te zijn tussen intensief en extensief onderhoud. Dit verschil komt naar voren door twee metingen die gemaakt zijn in Nijmegen Lent met infiltratiesnelheden van 2,44 mm/min en 2,92 mm/min. De rest van de metingen komen daarentegen sterk met elkaar overeen.

7.4.3 Onderhoud (resultaat)

Er is geen correlatie tussen de verschillende categorieën van onderhoud en de infiltratiesnelheid. Het is mogelijk dat verschil in maaionderhoud een effect heeft op de infiltratiesnelheid, maar dat wordt niet door de gegevens bevestigd.

8 Voldoen de wadi's aan de gestelde eisen?

In dit hoofdstuk wordt gekeken of de wadi's aan de gestelde eisen van de gemeente Nijmegen voldoen. In paragrafen 4.4 en 4.5 wordt uitgelegd hoe de wadi's op dit punt zijn benaderd. De gestelde eisen staan hieronder genoemd:

- De wadi's moeten aan de wadi ontwerprichtlijnen van Nederland voldoen. Hierbij geldt een infiltratiesnelheid van >0,35 mm/min (Floris Boogaard, 2006) is behandeld in paragraaf 8.1.
- De wadi's moeten na een regenbui binnen 24 uur leeg zijn (Stax, Stage opdrachten Milieutechnisch functioneren groenblauwe klimaatadaptatie objecten, 2020). Dit is behandeld in paragraaf 8.2.
- Er mag geen schade of ernstige hinder optreden ten gevolge van het functioneren van hemelwatervoorzieningen bij neerslag met een herhalingsstijd van 2 jaar of minder (Gemeente Nijmegen, 2016), zie paragraaf 8.3.
- Er mag geen schade optreden ten gevolge van het functioneren van openbare riolering en hemelwatervoorzieningen bij neerslag met een herhalingsstijd van 10 jaar of minder (Gemeente Nijmegen, 2016), zie paragraaf 8.3.

8.1 Infiltratiesnelheid

In de wadi ontwerprichtlijnen van Nederland wordt als norm een doorlatendheid van >0,35 mm/min gesteld (Floris Boogaard, 2006). In Bijlage 5 staan de 36 infiltratiemetingen die zijn uitgevoerd. Van deze 36 infiltratiemetingen zijn er zes metingen die niet aan deze minimale doorlatendheid van 0,35 mm/min voldoen. In deze paragraaf wordt op basis van de bevindingen bij het onderzoeken van de omgevingsfactoren gekeken wat een mogelijke oorzaak is voor deze zes lage meetwaarden. In Tabel 11 staan de zes infiltratiemeetpunten waar de lage meetwaarden zijn waargenomen.

In de paragrafen 7.1.3 en 7.2.3 zijn uit de omgevingsfactoren Bodem en Bodem door verdichting twee resultaten naar voren gekomen die in verband staan met minder goede doorlatendheid. Vandaar dat er in Tabel 11 rekening is gehouden met de grondsoort en de mate waarin de wadi's zijn betreden.

Tabel 11 Infiltratiemetingen die niet aan de Nederlandse doorlatendheidsnorm van 0,35 mm/min voldoen

Wadi	L1 M6	O1 M3	O4 M4	O5 M1	W1 M1	W4 M1
Infiltratiesnelheid in mm/min	0,09	0,07	0,05	0,01	0,3	0,22
Grondsoort eerste 30 cm vanaf maaiveld	Klei Zwak- zandig	Klei Sterk- zandig	Klei sterk zandig	Klei matig siltig	Zand zwak siltig	Zand-klei
Boorstaat (Bijlage 6)	17	10	14	16	3	(dichtstbijzijnde boring 9)
Betreding (paragraaf 7.2)	Sterk	-	-	Matig	-	-

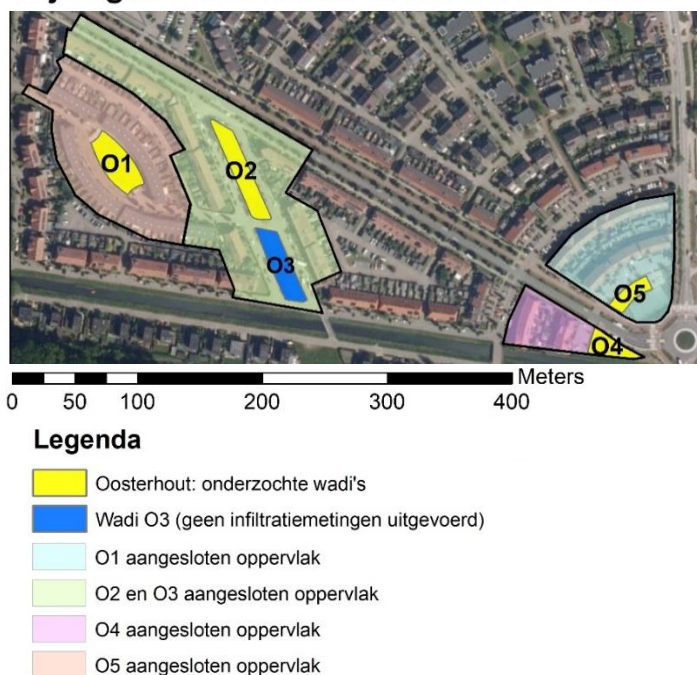
8.2 Ledigingstijd

Er wordt getest met de neerslags-scenario's T10 en T2 met een neerslagduur van 24 uur, waarbij de wadi's zo'n 48 uur na de start van de tests op maaiveldniveau leeg moeten zijn. De gegevens die voor het model gebruikt zijn staan in Bijlage 11 C. Er wordt een uitleg gegeven over het model in paragraaf 4.5

De testresultaten van het infiltratiemodel staan in Tabel 12 weergegeven. Hierin is te zien dat wadi O2 en O3 samen worden weergegeven. De reden hiervoor is dat deze wadi's een aangesloten oppervlak delen zoals is weergegeven in Figuur 37.

In wadi O3 zijn geen metingen uitgevoerd, daarom is gebruik gemaakt van de infiltratiemeetgegevens van wadi O2.

Nijmegen Oosterhout: onderzochte wadi's



Figuur 37 Nijmegen Oosterhout: onderzochte wadi's aangesloten oppervlak

Wadi's in het Westerpark

De wadi's in het Westerpark zijn al door de gemeente Nijmegen getest op het functioneren aan de hand van neerslagsscenario's. Uit dat onderzoek bleek dat de wadi's van het Westerpark zelfs bij een neerslagsscenario van T100 goed functioneren. Wel dient rekening te worden gehouden met de waterstand in de rivier de Waal, omdat het Westerpark in de buurt van de Waal ligt. De waterstand van de Waal kan invloed hebben op de grondwaterstand in het Westerpark en daarmee op het functioneren van de wadi's in dit park. Bij T2 neerslagsscenario's met een hoge rivierstand van de Waal is gebleken dat er een bergingstekort zou zijn (M.Sc, 2014). De wadi's in het Westerpark zijn al door de gemeente Nijmegen onderzocht, daarom zijn deze wadi's niet opnieuw getest.

Tabel 12 Hoeveel uur duurt het voordat de wadi leeg staat na het begin van de neerslagsimulatie.

Hoeveel uur duurt het voordat de wadi leeg staat na het begin van de neerslagsimulatie					
Wadi	L1	O1	O2 en O3	O4	O5
T2 uur leeg	0,9	3,8	1,6	0,8	>48
T10 uur leeg	1,6	6,4	2,9	1,4	>48

8.3 Hinder of schade

Nagenoeg alle wadi's voldoen aan de eis dat zij 24 uur na een T10 of T2 bui leeg zijn. Dit betekent dat eventuele hinder beperkt blijft tot 24 uur na een regenbui. Het recreatief gebruik van de wadi's kan gedurende deze periode beperkt zijn. Naar verwachting zal er geen schade optreden ten gevolge van het functioneren van openbare riolering en hemelwatervoorzieningen, omdat de wadi's aan de gestelde eisen op het gebied van doorlatendheid voldoen.

Wadi O5 heeft de laagst gemeten infiltratiesnelheid. Hierdoor is de wadi niet in staat om al het hemelwater te laten infiltreren. Wadi O5 is de enige van de geteste wadi's waarbij het waterpeil tijdens de neerslagsscenario's de hoogte van de overstort (0,5 meter vanaf het maaiveldniveau) bereikt. Dit heeft tot gevolg dat eventuele hinder niet beperkt blijft tot 24 uur na een regenbui. Het recreatief gebruik van de wadi kan gedurende een langere periode beperkt zijn.

Het is mogelijk dat er schade optreedt ten gevolge van het functioneren van de wadi. Wadi O5 is 0,6 meter diep en heeft een overstort op 0,5 meter. Als het waterpeil een hoogte van meer dan 0,5 meter bereikt, dan wordt het water door de overstort afgevoerd, de wadi loopt dus niet over. De vegetatie in een wadi is bestand tegen een waterstand enkele tientallen centimeters gedurende 24 uur, zie paragraaf 2.5. Bij een langere periode kan er schade aan de vegetatie ontstaan.

9 Beheer

In dit hoofdstuk worden de beheermaatregelen besproken die uit het onderzoek naar voren zijn gekomen.

9.1 Recreatief gebruik

Uit het resultaat van paragraaf 7.2.3 is gebleken dat delen van wadi's waar vaak wordt gespeeld of waar veel gebruikte afsnijroutes doorheen lopen, minder waterdoorlatend zijn dan de delen die minder vaak worden betreden. Bij het inrichten een wadi met een recreatieve functie, zoals een speeltuin, zou hiermee rekening kunnen worden gehouden. Daarnaast zou het ontstaan van olifantenpadjes beperkt kunnen worden als hier rekening mee wordt gehouden, bij het inrichten van looppaden rond en door wadi. Door het plaatsen van obstakels, denk bijvoorbeeld aan heggen, grote keien, etc.. aan de rand van een wadi, kan het betreden van deze wadi op plekken die niet wenselijk zijn minder aantrekkelijk worden gemaakt.

9.2 Maaionderhoud

In paragraaf 7.4.3 is aangegeven dat er geen relatie is gevonden tussen de onderzochte vormen van maaionderhoud en de infiltratiesnelheid. Op basis van dit gegeven zou de gemeente Nijmegen zowel intensief (beheerniveau B) als extensief (maaibeheer als Kruidenrijke vegetatie) beheer kunnen toepassen in de wadi's, zonder dat dit effect heeft op de doorlatendheid.

Dit houdt voor de gemeente Nijmegen de opties open om het maaionderhoud van de wadi's aan te passen aan andere factoren die geen onderdeel uitmaken van het onderzoek, zoals bijvoorbeeld biodiversiteit of kosten.

9.3 Aanpassingen

In paragraaf 8.1 is te zien dat er zes infiltratiemeetpunten zijn die niet aan de doorlatendheidsnorm van Nederland voldoen. In paragraaf 8.3 blijkt dat wadi O5 niet naar wens functioneert. In deze paragraaf wordt gekeken naar mogelijke aanpassingen die gemaakt kunnen worden zodat aan de eisen wordt voldaan.

9.3.1 Aanpassingen doorlatendheid

In paragraaf 8.1 is te zien dat er zes infiltratiemeetpunten zijn die niet aan de doorlatendheidsnorm van Nederland voldoen. Om deze locatie beter te kunnen laten functioneren zal de ondergrond beter doorlatend gemaakt moeten worden. Hieronder staan twee mogelijke aanpassingen om de doorlatendheid van de grond te verbeteren:

- **Grondverbetering**

Het aanbrengen van grondverbetering moet het mogelijk maken om het hemelwater beter in de grond te laten infiltreren en met het proces van infiltreren het hemelwater te zuiveren. Bij het aanleggen van wadi's kan deze grondverbetering op zo'n 30 tot 50 cm vanaf het maaiveld worden aangelegd (Boogaard, Een wadi kun je eigenlijk overal aanleggen, 2020). Hiervoor wordt vaak tuinaarde gebruikt. Tuinaarde heeft een doorlatendheid van ongeveer 3 mm/min (Joostdevree, k-waarde, 2021).

- **Bomen**

Het is bekend dat bomen een effect hebben op de doorlatendheid van de ondergrond (TU Delft, 2021). In dit onderzoek zijn met name metingen uitgevoerd naast zwarte elzen die op een kleiige bodem staan. In paragraaf 7.3 is aangegeven dat de infiltratiesnelheid van deze metingen voornamelijk rond de van 2 mm/min en de 3,5 mm/min ligt. De mogelijkheden betreffende het toepassen van bomen om de infiltratiesnelheid te verbeteren komt terug in

de discussie, hoofdstuk 11. Ook zal de toepassing van bomen om de initiatiesnelheid te verbeteren leiden tot een aanpassing van het onderhoud, aangezien bladval rondom de bomen moeten worden opgeruimd om te voorkomen dat dit een negatief effect heeft op de doorlatendheid van de wadi (Gemeente Enschede, 2021).

Overweging grondverbetering of bomen

Beide opties voor het verbeteren van de doorlatendheid zouden overwogen kunnen worden. Het effect dat bomen hebben op de doorlatendheid van de bodem is op één meter van de boom positief. Op grotere afstand van de boom is dit effect minder goed meetbaar. Het toepassen van grondverbetering heeft een direct een positief effect op de doorlatendheid van de bodem en is beter meetbaar.

9.3.2 Aanpassingen berging

In paragraaf 8.3 blijkt dat wadi O5 niet naar wens functioneert. Naast dat deze wadi niet aan de doorlatendheidnorm van Nederland voldoet, is Wadi O5 is de enige van de geteste wadi's waarbij het waterpeil tijdens de neerslagsscenario's de hoogte van de overstort bereikt. Om de bergingscapaciteit van deze wadi te vergroten zijn er meerdere mogelijkheden. Hieronder worden vier mogelijkheden genoemd:

- **Meer bergingscapaciteit realiseren in de wadi en het infiltrerend oppervlak vergroten**
Als er ruimte naast de een wadi aanwezig is. Zou het mogelijk zijn om de wadi te verbreden. Hiermee wordt het infiltrerend oppervlak van de wadi vergroot en ontstaat er meer bergingscapaciteit in de wadi.
- **Aanbrengen ondergrondse met gebruik van grindkoffers of steenwol**
Als een wadi te weinig bovengrondse bergingscapaciteit heeft, is het mogelijk om deze toch te vergroten, door onder het maaiveld ondergrondse berging aan te leggen. Op deze manier kan het hemelwater door infiltratie in de wadibodem en via de slokop in de ondergrondse berging terechtkomen en via een drainagebuis worden afgevoerd.

De ondergrondse berging kan bestaan uit grindkoffers of steenwol. De grindkoffers kunnen met grind, lavasteen of gebakken kleikorrels (Rainproof, 2021) gevuld zijn. Steenwol kan op dezelfde manier worden toegepast als de grindkoffers, waarbij het helpt om hemelwater makkelijker te laten infiltreren (Rockwool, 2021). Er zijn al projecten waarbij steenwol wordt toegepast als klimaatbestendige optie. De foto in Figuur 38 is afkomstig van een pilot project van Amsterdam uit het jaar 2019 (Egmond, 2019).



Figuur 38 Steenwol als ondergrondse berging

- **Aanleggen van drainagebuizen**
Drainagebuizen kunnen worden aangelegd om water uit een gebied met weinig infiltratiecapaciteit af te voeren naar een plek met meer berging en een betere infiltratiecapaciteit (Rainproof, 2021).
- **Slokop of overstort verlaagd**
Bij het verlagen van de slokop of overstort wordt zal het water de wadi eerder worden afgevoerd naar een ander gebied bij een heftige regenbui. Dit zorgt dat er in de wadi zelf minder hemelwater hoeft te infiltreren.

10 Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de hoofd- en deelvragen beantwoord en aanbevelingen gedaan op het gebied van beheermaatregelen voor wadi's in de gemeente Nijmegen.

10.1 Conclusie

Hieronder worden de vijf deelvragen, die als leidraad voor dit onderzoek zijn geformuleerd, behandeld.

- *Wat zijn de omgevingsfactoren binnen de scope van het onderzoek?*

In hoofdstuk 2 worden de vier omgevingsfactoren beschreven. De omgevingsfactoren zijn: Bodem, Bodemverdichting door betreding, Vegetatie en Onderhoud. Van elk van de omgevingsfactoren is bekeken wat de relatie met het infiltratieproces is.

- *Wat is de infiltratiesnelheid van de wadi's op de verschillende meetpunten?*

In hoofdstuk 5 worden de infiltratiemetingen per wadi weergegeven. De infiltratiesnelheid per meetpunt kan sterk verschillen. Tijdens het veldonderzoek zijn er zelfs binnen een wadi grote verschillen tussen de meetpunten geconstateerd.

- *Wat is het verband tussen de omgevingsfactoren en de infiltratiesnelheid?*

In hoofdstuk 7 wordt per omgevingsfactor weergegeven wat de relatie tussen de betreffende omgevingsfactor en de infiltratiesnelheid is. Voor de omgevingsfactoren Bodem, Bodemverdichting en Vegetatie is er een direct verband met de infiltratiesnelheid. Voor de omgevingsfactor Onderhoud is dit verband minder duidelijk.

- *Wordt met de infiltratiesnelheid voldaan aan de eisen?*

De vraag of de infiltratiesnelheid voldoet aan de eisen wordt in hoofdstuk 8 beantwoord. Uit de infiltratiemetingen is naar voren gekomen dat op zes meetpunten niet wordt voldaan aan de eisen met betrekking tot de doorlatendheid. Met betrekking tot de wadi's blijkt uit het infiltratiemodel dat één wadi (O5) niet aan de eisen voldoet bij neerslagsscenario's van T10 en T2.

- *Wat zijn mogelijke beheermaatregelen?*

De mogelijke beheermaatregelen worden in hoofdstuk 9 besproken. Het betreft: grondverbetering, aanleggen van looppaden, planten van bomen, technische aanpassingen en het aanpassen van het recreatief gebruik.

Met het beantwoorden van de deelvragen komen wij bij de beantwoording van de hoofdvraag. De hoofdvraag is als volgt geformuleerd:

Wat zijn gelet op de waterdoorlatendheid en de omgevingsfactoren passende beheermaatregelen voor wadi's in de gemeente Nijmegen?

Gelet op de waterdoorlatendheid en de omgevingsfactoren is er geen directe noodzaak om het beheer van de wadi's aan te passen.

De wadi's in Nijmegen Oosterhout en Nijmegen Lent zijn aan de hand van het infiltratiemodel getest. Uit de tests met de neerslagscenario's T10 en T2 blijkt dat de nagenoeg alle wadi's aan de eis voldoen om binnen 24 uur na een regenbui op maaiveldniveau leeg te zijn.

Een uitzondering hierop is wadi O5. Wadi O5 kent echter een overstort op 0,5 meter vanaf het maaiveld, waardoor het waterpeil in deze wadi niet hoger kan komen te staan dan 0,5 meter. Hoewel deze wadi niet voldoet aan de infiltratienorm en de 24 uren eis is er geen directe noodzaak om het beheer van deze wadi aan te passen. Door de overstort ontstaat geen schade of hinder aan de omgeving, wel kan de wadi zelf schade oplopen door een langdurige hoge waterstand.

De wadi's in het Westerpark zijn door de gemeente Nijmegen getest op het functioneren aan de hand van neerslagscenario's. Uit dat onderzoek blijkt dat de wadi's van het Westerpark zelfs bij een neerslagscenario van T100 goed functioneren. Deze wadi's voldoen aan de door de gemeente gestelde eisen.

Hoewel er geen directe noodzaak is om het beheer van de wadi's aan te passen worden er wel aanbevelingen gedaan om het functioneren van de bestaande wadi's te verbeteren.

10.2 Aanbevelingen

In deze paragraaf worden aanbevelingen gedaan die de gemeente Nijmegen zou kunnen meenemen bij beheren van haar wadi's. Het betreft de volgende onderwerpen:

- Aanpassingen Infiltratiemeetpunten
- Mogelijke aanpassingen Wadi O5
- Bomen
- Bodemverdichting door betreding
- Haakmos

Aanpassingen Infiltratiemeetpunten

Tijdens het onderzoek is geconstateerd dat er zes infiltratiemeetpunten zijn die niet norm van >0,35 mm/min (wadi ontwerprichtlijnen van Nederland) voldoen. Vijf van deze metingen zijn op een kleiige ondergrond uitgevoerd.

Voor vier infiltratiemeetpunten waar de ondergrond in hoofdzaak uit klei bestaat (L1 M6, O1 M3, O4 M4 en O5 M1) kan de doorlatendheid worden verbeterd door grondaanpassingen. Door op zo'n 30 tot 50 cm vanaf het maaiveld de kleilaag te verwijderen en te vervangen door tuinaarde wordt de doorlatendheid van de bovenlaag verbeterd.

Bij L1 M6 en O5 M1 speelt ook verdichting door betreding een rol. Bij L1 M6 wordt de verdichting veroorzaakt door een zogenaamd olifantenpad. Door het plaatsen van obstakels aan de rand van de wadi kan betreding minder aantrekkelijk worden gemaakt.

Meetpunt O5 M1 ligt midden in een speeltuin. Verdichting door betreding kan worden verminderd door de recreatieve functie te beperken.

De aanbeveling voor het infiltratiemeetpunt W4 M1 is om hier voorlopig geen maatregelen te nemen. Het betreft hier een meetpunt naast jonge bomen waarvan het wortelstelsel nog niet voldoende is ontwikkeld. De verwachting is dat als de bomen groter worden en het wortelstelsel verder ontwikkeld de doorlatendheid van de kleigrond wordt verbeterd.

Voor de lage infiltratiesnelheid op infiltratiemeetpunt W1 M1 kan geen verklaring worden gevonden. Indien de gemeente hier meer duidelijkheid over wil hebben, dan is het aan te bevelen om hier nader onderzoek naar te doen. Hierbij kan men denken aan laboratoriumonderzoek om de samenstelling van de grond te onderzoeken.

Mogelijke aanpassingen Wadi O5

Wadi O5 voldoet niet aan de infiltratienorm- en 24 uurs eis. De doorlatendheid van de bovenlaag van de grond kan worden verbeterd door deze laag te verwijderen en te vervangen door tuinaarde. Daarnaast kan de gemeente overwegen om ondergrondse bering aan te leggen, zodat de bergingscapaciteit van de wadi wordt vergroot.

Bomen

Uit het onderzoek blijkt dat bomen een positieve werking hebben op de waterdoorlatendheid van kleiige bodems. Het verdient aanbeveling om onderzoek te doen naar de werking van bomen op een afstand van meer dan 1 meter van een boom. Daarnaast kan onderzoek worden gedaan naar het soort bomen dat een positieve invloed heeft op de waterdoorlatendheid van de kleigrond. Hierbij kan gedacht worden aan bomen met een goed ontwikkeld wortelstelsel.

Bodemverdichting door betreding

Uit het onderzoek blijkt dat recreatief gebruik van een wadi kan leiden tot verdichting van de bodem en daarmee tot een verminderde waterdoorlatendheid. De gemeente kan bij het toewijzen van delen van een wadi voor recreatief gebruik rekening houden met dit effect, door grondverbetering toe te passen. Daarnaast zou het ontstaan van olifantenpadjes beperkt kunnen worden door het aanbrengen van blokkades aan de rand van een wadi en het aanleggen van looppaden rond een wadi.

Haakmos

Er wordt geadviseerd meer onderzoek te doen naar het verband tussen de haakmos en infiltratiesnelheid. De plant haakmos is voornamelijk aangetroffen op plekken met een goed doorlatende bodem. Het is mogelijk dat haakmos een indicator is voor goed doorlatende bodems en kan mogelijk worden gebruikt bij het inventariseren van wadi's .

11 Discussie

In dit hoofdstuk wordt de validiteit en betrouwbaarheid van de verschillende onderwerpen in het rapport besproken en welke limitaties er binnen het onderzoek voorkomen. De onderwerpen worden besproken zijn:

- Infiltratiemetingen met de dubbele ringinfiltrometer
- Bodemgegevens in verband met infiltratiemetingen
- Aanname mate van betreding
- Aangetroffen vegetatie
- Infiltratiesnelheid van de gehele wadi bepalen
- Wadi's testen op regenbuien (bergingscapaciteit)

Infiltratiemetingen met de dubbele ringinfiltrometer

Voor het onderzoeken van de infiltratiesnelheid is gebruik gemaakt van een dubbele ringinfiltrometer. Deze methode is erkend als doorlatendheidstest in het grondwaterzakboekje van het jaar 2016 (Bot, 2016) en het bedrijf Royal Eijkelpark (Eijkelpark, 2012). Om deze methode te kunnen gebruiken dient de ondergrond (bijna)-verzadigd te zijn.

Het is mogelijk dat niet bij alle infiltratiemetingen (bijna)-verzadiging is opgetreden. Dit kan komen door een tekort aan water tijdens de metingen of doordat de grond zo goed doorlatend is dat er geen verzadiging kan optreden.

Bodemgegevens in verband met infiltratiemetingen

Bij het categoriseren van de ondergrond is gekozen om de eerste 30 cm van de boorgegevens uit Bijlage 6 te nemen, zoals staat omschreven in paragraaf 7.1.1. Daarnaast is bij het vergelijken van de boorgegevens in hoofdstuk 6 besloten om te focussen op het verschil tussen kleiige en zandige bodems. Hier is voor gekozen omdat één of beide grondsoorten op alle boorlocaties voorkomen en de bodem in hoofdzaak uit één of beide grondsoorten bestaat.

Uit de metingen blijkt dat gemiddeld genomen zandbodems beter doorlatend zijn dan kleiige bodems, zie paragraaf 7.1.2. Wel is te zien dat er meetpunten zijn waar zandbodems een lagere infiltratiesnelheid hebben dan bodems die als kleigrond zijn gecategoriseerd. Het kan zijn dat diepere grondlagen een effect hebben op het infiltratieproces of dat bepaalde aspecten een rol spelen die geen onderdeel uitmaken van het onderzoek.

Aanname mate van betreding

Voor het bepalen van de mate van betreding zijn aannames gemaakt op basis van de recreatieve functie van een wadi, zichtbare tekenen van vertrapping en informatie van mensen die op de meetdagen in de wadi aanwezig waren, zoals wordt omschreven in paragraaf 6.1.

Voor het onderzoeken van betreding is voornamelijk gebruik gemaakt van infiltratiemetingen die in wadi L1 zijn gemaakt. Zoals in paragraaf 3.2 is uitgelegd, lopen er meerdere drainagebuizen door deze wadi. Het effect dat de aanwezigheid van drainagebuizen heeft op de meetgegevens van de meetpunten, kon niet worden onderzocht. Dit was niet mogelijk, omdat er in deze wadi geen locaties zijn die wel worden betreden, maar niet in de buurt van drainagebuizen liggen.

Aangetroffen vegetatie

De aangetroffen vegetatie is op twee manieren onderzocht, namelijk door gebruik te maken van de informatie beschikbaar uit het programma Atlas (Gemeente Nijmegen, 2021) en door het determineren van planten aan de hand het programma PlantNet (PlantNet, 2021).

Bij het determineren van planten met het programma Plantnet is voornamelijk gekeken naar het uiterlijk van de plant. Het is niet uit te sluiten dat planten met een vergelijkbare uiterlijke kenmerken zijn verwisseld.

Infiltratiesnelheid van de gehele wadi bepalen

Bij het bepalen van de infiltratiesnelheid van een wadi is gebruik gemaakt van de gegevens van verschillende meetpunten. Binnen eenzelfde wadi kunnen de meetgegevens met betrekking tot de infiltratiesnelheid soms sterk variëren, afhankelijk van de meetpunten. Om een beter beeld te krijgen van de gemiddelde infiltratiesnelheid van de wadi's als geheel, moet meer onderzoek plaatsvinden. Hierbij zou mogelijk een inundatieonderzoek kunnen worden uitgevoerd, waarbij de wadi volledig met water wordt gevuld.

Wadi's testen op regenbuien (bergingscapaciteit)

Bij het berekenen van de bergingscapaciteit is geen rekening gehouden met het talud van de wadi's, maar is gebruik gemaakt van de bergingsdiepte en het oppervlak van de wadi. Hierdoor zijn de wadi's mogelijk iets overgedimensioneerd met betrekking tot de berging.

Dit heeft invloed op de bergingscapaciteit als er met neerslagsscenario's van T10 en T2 buien wordt getest. In dit model wordt de overstortfunctie minder snel gebruikt, dan wanneer de taluds wel zouden zijn meegenomen.

Bibliografie

- (HKV), J. B. (2019). *NEERSLAGSTATISTIEK EN -REEKSEN*. Amersfoort: STOWA. Opgehaald van <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202019/STOWA%202019-19%20neerslagstatistieken.pdf>
- AHN. (2019). *AHN Viewer*. Opgehaald van Actueel hoogtebestand Nederland: <https://www.ahn.nl/ahn-viewer>
- Akker, J. v. (2021). *Bodemverdichting: ondergrond en bovengrond*. WUR.
- Biron, i. (2004). *Beter bouw- en woonrijp maken*. <https://www.joostdevree.nl/shtmls/k-waarde.shtml>: TU Delft. Opgehaald van joostdevree: <https://www.joostdevree.nl/shtmls/k-waarde.shtml>
- Boogaard, F. (2020, 7 15). *Een wadi kun je eigenlijk overal aanleggen*. Opgehaald van Kennisportaal klimaatadaptatie: <https://klimaatadaptatienederland.nl/actueel/actueel/interviews/wadi/>
- Bot, B. (2016). *Grondwaterzakboekje Gwz 2016*. Söderblomplaats 348, 3069 SL Rotterdam, Nederland: Bot Raadgevend Ingenieurs.
- CROW. (2018). *Kwaliteitscatalogus openbare ruimte 2018*. CROW.
- CVN. (2014). Landschapsecologie. In *Cursus Natuurgids* (p. 22).
- Daggegevens van het weer in Nederland*. (2021, Mei 13). Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens>
- Dagwaarden neerslagstations*. (2021, Mei 13). Opgehaald van KNMI: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/monv/reeksen>
- DHV Milieu en Infrastructuur BV en Grontmij Advies Techniek BV. (2004). *Module C2100 Rioleringsberekeningen, hydraulisch*. DHV Milieu en Grontmij Advies Techniek BV.
- Egmond, L. v. (2019, 5 16). *Steenwol voor watermanagement*. Opgehaald van Amsterdam Rainproof: <https://www.rainproof.nl/steenwol-voor-watermanagement>
- Eijkelkamp. (2012). *09.04 Dubbele Ringinfiltrometer*. Giesbeek: Royal Eijkelkamp Company.
- Flora van Nederland. (2021, mei 24). *rode klaver*. Opgehaald van floravannederland: https://www.floravannederland.nl/planten/rode_klaver
- Floris Boogaard, G. B. (2006). *Wadi's: aanbevelingen voor*. Ede: Modern, Bennekom.
- Gemeente Enschede. (2021, 7 7). *Wat is een wadi?* Opgehaald van youtube: https://www.youtube.com/watch?v=VgSmVWaQI3Q&ab_channel=GemeenteEnschede
- Gemeente Nijmegen. (2016). *ONTWERP Gemeentelijk Rioleringsplan Nijmegen*. Nijmegen: Gemeente Nijmegen.
- Gemeente Nijmegen. (2021). *Atlas*. Opgehaald van <https://kaart.nijmegen.nl/kaartviewer/?@GroenAtlas>
- Gemeente Nijmegen. (2021). *Maaien*. Opgehaald van Nijmegen.nl: <https://www.nijmegen.nl/nieuws/nieuwsdossiers/maaien/>

- Google maps. (2021). Opgehaald van Google:
<https://www.google.nl/maps/@51.9635651,5.9706731,14z?hl=nl>
- Grondwaterformules. (2021, Mei 15). *doorlatendheid-per-grondsoort*. Opgehaald van grondwaterformules:
<http://grondwaterformules.nl/index.php/vuistregels/ondergrond/doorlatendheid-per-grondsoort>
- IBM SPSS. (2021). IBM SPSS Statistics.
- Ivn. (2019, December 4). *Plassen stampen in het Biezenbos*. Opgehaald van IVN natuur educatie:
<https://www.ivn.nl/nieuws/plassen-stampen-in-het-biezenbos>
- Joostdevree. (2021, juni 6). Opgehaald van www.joostdevree.nl:
<https://www.joostdevree.nl/shtmls/duiker.shtml>
- Joostdevree. (2021, mei 27). *grindkoffer*. Opgehaald van www.joostdevree.nl:
<https://www.joostdevree.nl/shtmls/grindkoffer.shtml>
- Joostdevree. (2021). *k-waarde*. Opgehaald van joostdevree: <https://www.joostdevree.nl/shtmls/k-waarde.shtml>
- Kennisportaal Klimaatadaptatie. (2020, 1 15). *Nederland opnieuw inrichten tegen weersextremen*. Opgehaald van Kennisportaal Klimaatadaptatie:
<https://klimaatadaptatienederland.nl/actueel/actueel/nieuws/2020/nederland-opnieuw-inrichten-weersextremen/>
- M.Sc, A. Z. (2014). *Waterplan Waalfront 2014*. Nijmegen: Gemeente Nijmegen.
- MOS GRONDMECHANICA B.V. (2019). *Infiltratie onderzoek*. Nijmegen: MOS GRONDMECHANICA B.V.
- NEN. (1989). *Classificatie van onverharde grondmonsters*. NEN.
- PDOK. (2021). *PDOK Viewer*. Opgehaald van PDOK: <https://www.pdok.nl/viewer/>
- PlantNet. (2021, april 29). Nederland.
- Rainproof. (2021). *Wadi's*. Opgehaald van rainproof.nl:
<https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/wadis>
- Rijksoverheid. (2021, juni 9). *Deltaplan Ruimtelijke adaptatie*. Opgehaald van www.deltaprogramma.nl: <https://www.deltaprogramma.nl/themas/ruimtelijke-adaptatie/deltaplan>
- Rijksoverheid. (2021, 8 15). *deltaprogramma*. Opgehaald van deltaprogramma.nl:
<https://www.deltaprogramma.nl/deltaprogramma/wat-is-het-deltaprogramma>
- Rockwool. (2021, 10 6). *K-waarde*. Opgehaald van [rockwool](http://rockwool.com):
<https://www.rockwool.com/nl/toepassingen/rockflow/installatie-van-rockflow/technische-tekeningen/k-waarde/>
- Staller, R. (2021). *Rapport wadi versie 16-2-21*.
- Stax, S. J. (2020). *Gebruik, beheer, onderhoud en het functioneren van wadi's*. Nijmegen: Gemeente Nijmegen.

Stax, S. J. (2020). *Stage opdrachten Milieutechnisch functioneren groenblauwe klimaatadaptatie objecten*. Nijmegen: Gemeente Nijmegen.

STOWA&RIONED. (2003). *Vooronderzoek natuurvriendelijke wadi's*. Utrecht: Kruid Grafisch Advies Bureau.

SynBioSys Nederland 3.4.4. (2021). Nederland .

TU Delft. (2021). *WATER IN DE ONVERZADIGDE ZONE*. delf.

Universiteit van Wageningen. (sd). *Kaarten Grondwaterdynamiek*. Opgehaald van Wageningen university & research: <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Environmental-Research/Faciliteiten-tools/Software-en-modellen/Grondwaterdynamiek/Kaarten-Grondwaterdynamiek.htm>

Wal, B. v. (2020). *Geohydrologische analyse Dijkverbetering Dorpskern Ouderkerk a/d Amstel*. Royal HaskoningDHV.

Bijlage

Hieronder staan de bijlagen van het onderzoek weergegeven.

Bijlage 1	Stageopdrachten voor studenten wadi monitoring
Bijlage 2	Infiltratiemeetpunten
Bijlage 3	Onderzoeksmethodiek kiezen
Bijlage 4	Dubbele ringinfiltrometer methode
Bijlage 5	Infiltratiemetingen meetresultaten
Bijlage 6	Boorlocaties, boorstaten en bodembevingen
Bijlage 7	Betreding
Bijlage 8	Aangetroffen vegetatie
Bijlage 9	Neerslag tijdens de metingen
Bijlage 10	Categorieën van omgevingsfactoren en analyse
Bijlage 11	Infiltratiemodel

Bijlage 1 Stageopdrachten voor studenten wadi monitoring

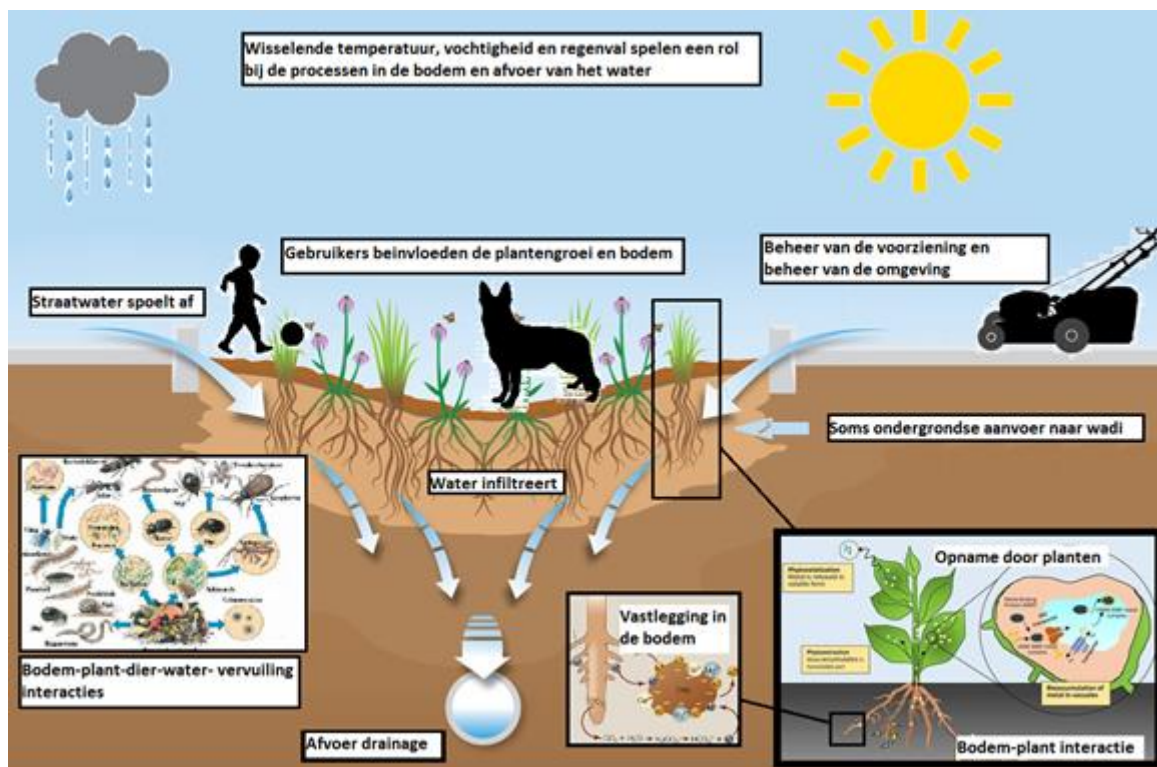
In deze bijlage staat het onveranderde bestand van de gemeente Nijmegen betreffende stageopdrachten voor studenten. Dit is het wadi monitoring (DPRA) programma. (DPRA) staat voor Deltaplan Ruimtelijke adaptatie.

Stage opdrachten voor studenten in het kader van Wadi Monitoring DPRA programma

1. Inleiding

De wadi of groenblauwe passage is een belangrijk object voor het infiltreren, maar ook voor het zuiveren van water. Het water komt van verhard oppervlak af, wordt ondergronds aangevoerd of komt direct vanuit de lucht in de wadi terecht. Het water is vervuild door de directe omgeving omdat de oppervlakten waarover het water afstroomt vervuiling bevat. Het water infiltreert via de bodem dieper de grond in, maar passeert wel eerst de bewortelde zone. In die zone vinden allerlei belangrijke processen plaats voor de zuivering zoals: opname van stoffen door planten, afbraak van stoffen door plantproducten, binding aan de bodem, afbraak door oxidatie processen of/en opname micro-organismen en zelfs door kleine dieren. In de eerste 10 tot 20 cm worden vervuilende stoffen het meeste vastgelegd, opgenomen of afgebroken. De bodem speelt een belangrijke rol bij de zuivering, maar een groot deel van bepaalde stoffen wordt opgenomen door planten (bv. 80% metalen en een deel wordt afgegeven aan de lucht). De beworteling van de grond bepaald ook, in zekere mate, de infiltratie naast de doorlatendheid van de bodem zelf. Infiltratie is natuurlijk een belangrijke eigenschap van de voorziening zelf, dus ook voor onderzoek, maar infiltratie heeft ook een relatie met de genoemde processen voor zuivering. Verblijftijd van het water in de bodem is een van de factoren die invloed heeft op de zuivering van het water.

Het bovengronds gebruik en beheer beïnvloedt alle biota (vooral bovengronds), maar ook de bodem zelf (bijvoorbeeld verdichting of sliblaagvorming). Het beheer en bovengronds gebruik heeft daardoor invloed op de begroeiing en daarmee op de infiltratie van het water en de processen voor vervuiling in de wadi. Tussen de bodem, het water en de organismen vinden fysieke en biochemische interacties plaats die op zijn beurt weer elkaar beïnvloeden. In de bodem zijn de meeste en meest complexe interacties. Bodembeheer is daarom van cruciaal belang voor het functioneren van de wadi. Deze schijnbaar simpele constructie is dus enorm complex in zijn functioneren. De afbeelding hieronder geeft een versimpelde schematisering weer (de biochemische processen zijn beperkt weergegeven).



2. Algemeen onderzoek met studenten

Het belangrijkste van het onderzoek is het functioneren **in relatie tot bovengronds gebruik en beheer**. Dit betekent dat we naar verandering van factoren kijken ten gevolge van bovengronds gebruik en beheer. Denk aan verdichting van de bodem door spelende kinderen, of minder opname door planten vanwege maaibeheer, etc. Er zijn veel factoren die infiltratie en zuivering bepalen. Het is voor dit onderzoek interessant om elke factor afzonderlijk in relatie tot bovengronds gebruik en beheer te onderzoeken. Hieronder is een tabel gegeven ter verduidelijking (tabel 1). Er kunnen meerdere combinaties worden bedacht, zolang de opzet hetzelfde blijft.

Tabel 1. Factoren voor milieutechnisch functioneren in relatie tot bovengronds gebruik en beheer

Factor te onderzoeken	Bovengronds gebruik	Beheer
Infiltratie met ringinfiltratie meting + bodemopbouw	Gazon (extensief gebruik)	Wadi met extensief beheer, wadi met intensief beheer
Infiltratie met ringinfiltratie meting + bodemopbouw	Wadi met speeltoestellen, wadi zonder speeltoestellen	Alle wadi's hebben intensief maaibeheer
Metaal oplading met XRF + bodemopbouw	Gazon (extensief gebruik)	Wadi met extensief beheer, wadi met intensief beheer
Metaal oplading met XRF + bodemopbouw	Wadi met speeltoestellen, wadi zonder speeltoestellen	Alle wadi's hebben intensief maaibeheer
Samenstelling biota (plant of dier)	Gazon (extensief gebruik)	Wadi met extensief beheer, wadi met intensief beheer
In en uitstroom verhouding water	etc	etc
Cation exchange capacity	etc	etc
etc	etc	etc

Echter is er een onderdeel van het onderzoek wat iets anders in elkaar steekt en dat is vooral het vooronderzoek. Hierbij onderzoeken we de vervuilingbronnen. Hierbij is de bron de veranderende factor (bijvoorbeeld straat vs dak). Hierbij moet het bovengronds gebruik en beheer juist hetzelfde

blijven, want anders kan dat het verschil in bodemsamenstelling veroorzaken en niet de vervuilsbron. Daarom moet dit dus hetzelfde blijven (tabel 2).

Vervolgens heb je de emissieschatting voor één type wadi/groenblauwe passage. Pas als de emissie bekend is kun je dit combineren met metingen in het veld waarbij WEL verschillend bovengronds gebruik en beheer heeft plaatsgevonden.

Tabel 2. Onderzoek naar de vervuilsbron

Factor	Bovengronds gebruik	Beheer
Bodemsamenstelling bij voornamelijk dakoppervlak als afstromend oppervlak	Gazon (extensief gebruik)	Alle wadi's hebben intensief maaibeheer
Bodemsamenstelling voornamelijk straatoppervlak als afstromend oppervlak	Gazon (extensief gebruik)	Alle wadi's hebben intensief maaibeheer

Ten slotte kan het ook nog eens voorkomen dat er het beste naar één wadi/groenblauwe passage gekeken kan worden om verschillend bovengronds gebruik te onderzoeken. Onder bovengronds gebruik verstaan we ook de inrichting. Dit kunnen bijvoorbeeld kruidachtige, bloemachtige, stuikachtige planten zijn of zelfs bomen naast gras. Dit komt meestal dan niet in de hele wadi voor. Dat betekent dat er verschillen zijn binnen de wadi. Hetzelfde kan gelden bij spelen. Vaak wordt maar in een gedeelte van de wadi gespeeld (te zien aan afwezigheid gras en olifantenpaadjes). Al de bovengenoemde factoren kunnen binnen een wadi dus ook verschillen. De studenten kunnen daarom hun onderzoek ook op een wadi/groenblauwe passage richten.

Belangrijk: We proberen nieuwe kennis te genereren in het algemeen. Dit betekent dat we niet perse het functioneren van een object in de Nijmeegse lokale situatie willen weten, we willen het functioneren weten bij situaties die overal voor kunnen komen. Dit is belangrijk voor de onderzoeksopzet. Alleen het functioneren in kaart brengen van één object is niet genoeg! Er moet nog een zelfde object onderzocht worden waar maar één factor verschillend is. Dit laatste is nagenoeg onmogelijk, maar wanneer er dezelfde objecten gekozen worden in dezelfde lokale situatie dan komt het aardig in de buurt. Als dit onderzoek vaak genoeg herhaald wordt is het uiteindelijk ook statistisch verantwoord waardoor de kennis dus wel algemeen toepasbaar wordt.

3. Samenwerking studenten, scholen, bedrijven en gemeente

Het monitoringsprogramma wordt in opdracht van de gemeente uitgevoerd door bedrijven, maar samenwerking met studenten is een vereiste in het programma. De bedrijven zullen de belangrijkste metingen uitvoeren over 5 jaar verspreid. Dit zorgt er voor dat er professionele continuïteit gewaarborgd wordt en een verzekering van beschikbaar materiaal en mensen. De studenten zullen dezelfde metingen uitvoeren + meer metingen doen. Op deze manier is de kwaliteit van de basis metingen (minimaal noodzakelijk voor succes) verzekerd. De metingen van de studenten zijn aanvullend en ondersteunend. Er kunnen allerlei ondersteunende metingen worden gedaan. Studenten kunnen bijvoorbeeld doormiddel van een zeefkromme de exacte korrelgrootte en samenstelling van fysisch bodem in kaart brengen. Naast het standaardstoffenpakket kunnen studenten ook de bodem en plantopname voor meerdere stoffen analyseren. Naast een vegetatieopname kunnen studenten de samenstelling van dieren of micro-organismen in kaart brengen en die relateren aan bovengronds gebruik, beheer OF aan de resultaten van de metingen van de bodemsamenstelling (deze is erg interessant, want het kijkt naar een onderdeel in het systeem waar nog helemaal niet naar gekeken is)!

De gemeente neemt stagiaires in dienst, maar daar is maar een beperkte capaciteit om studenten te begeleiden. Er is eigenlijk maar één persoon die de studenten vanuit de gemeente kan begeleiden

(Sidney Stax) en daarom kan er maar een student tegelijkertijd in dienst zijn. Dit kan echter opgelost worden door een intensievere begeleiding vanuit de hogescholen of universiteiten. Als de docenten een groter aandeel van de begeleiding op zich nemen dan kunnen er meer studenten in dienst bij de gemeente. Naast stagiaires volledig in dienst zullen er ook kleine groepjes studenten aan projecten werken die in dit programma zitten.

Daarnaast werken Sidney Stax en Floris Boogaard aan een Groen-Blauw kennisplatform waar alle studenten aan deel kunnen nemen. Floris Boogaard stuurt een nog groter onderzoek aan (50 gemeenten) waar ook studenten bij betrokken zijn. Via het kennisplatform zullen mensen van de gemeenten, docenten en vooral de studenten zelf hun kennis delen. Op deze manier helpen de studenten elkaar ook. De betrokken bedrijven kunnen ook voorlichting bieden via dit platform. De gegeneerde kennis van het monitoringsprogramma wordt uiteindelijk gedeeld op het platform van het DPRA project.

4. Mogelijke onderwerpen van onderzoek voor de studenten

Infiltratie onderzoek

De bodem van de wadi's zijn niet altijd homogeen verdeeld. Daarom is het vol zetten van de wadi om infiltratie te testen niet altijd de beste manier om meer te weten te komen over de werking van de wadi. Zeker niet als het er verschillende bovengrondse situaties zijn binnen een wadi zoals plantensamenstelling, olifantenpaadjes, verschillende kwaliteit groen en bijvoorbeeld bij inspoelpunten. De studenten kunnen zelf op meerdere plekken binnen een wadi een ringinfiltrometer gebruiken. Een onderzoeksvraag daarbij zou zijn; in welke mate verschilt de infiltratie binnen een wadi



afhankelijk van de bovengrondse inrichting en/of ondergrondse samenstelling, bevoegronds gebruik of beheer (etc.). De studenten kunnen ook wadi's met verschillende leeftijden onderzoeken. Dan moeten er wel wadi's uitgekozen worden die betreffende bovengrondse inrichting en ondergrondse samenstelling vergelijkbaar zijn. De studenten kunnen ook een model maken van de infiltratie (met focus op bepaalde factoren). Naast bovengrondse en ondergrondse samenstelling spelen dan verdamping, vochtigheid, hoeveelheid en intensiteit neerslag nog een belangrijke rol voor de afvoer van water. Studenten kunnen zowel aan een model werken als aan een experimenteel veldonderzoek. Meetgegevens kunnen gebruikt worden om het model te valideren en/of aan te passen. Het kan echter ook gescheiden onderzocht worden. Ten slotte kunnen studenten deze onderzoeksmethoden ook toe passen op verschillende typen wadi's (natuurlijke/ecologische wadi's en "gazon" wadi's bijvoorbeeld). Voor de onderzoeken is minimaal vereist: gebiedsopname/beschrijving en waterstroom naar de wadi toe, systeembeschrijving van de wadi bodem en bovengrond, infiltratie-veld onderzoek (ringinfiltrometer of anders). Voor de samenstelling van de bodem kan eventueel een bodem onderzoek gedaan worden met veldwerk (bodemprofiel). Vooral bij oudere wadi's kan de bodemopbouw veranderd zijn ten opzichte van de aanleg. Bij jongere wadi's kunnen we er van uitgaan dat de bodemopbouw gelijk is aan die op de aanleg/ontwerp tekeningen.

De gemeente bied begeleiding aan bij de beschrijving van het gebied en systeembeschrijving en mogelijk samenwerking met professionele organisaties. Bij het uitvoeren van veldwerk wordt veel zelfstandigheid van de student verwacht.

Dit onderzoek kan aangevuld worden door een zeefkromme te maken waarbij er meer informatie over de bodemsamenstelling beschikbaar is.

Biochemisch bodem onderzoek

De chemische bodemsamenstelling is enorm van belang voor beheer. In eerste instantie omdat het iets zegt over de oplading van vervuiling. Dat betekent de mate van toename van vervuiling. Als de concentratie aan vervuilende stoffen een bepaalde norm overschrijdt dan moet de bodem vervangen worden. De samenstelling is o.a. afhankelijk van de vervuilingsbron, infiltratie/exfiltratie en processen in de wadi. De processen in de wadi zijn zeer divers. Het kan van micro-organismen tot spelende kinderen gaan. Echter kunnen deze allemaal een invloed op de bodemsamenstelling hebben. Dit willen we graag weten.

Voor dit meetprogramma ligt de focus voor onderzoek op bepaalde factoren/processen binnen de wadi:

- plantsamenstelling en plant bodem interacties
- betreden van de wadi door voetgangers, honden en spelende kinderen
- maaibeeld van de wadi
- biota in de bodem zoals dieren of/en micro-organismen
- aanwezigheid van schimmels in de bodem
- vuilbelasting zelf
- retentietijd van water en frequentie van water in de wadi

Meer relaties mogen geïntroduceerd worden door studenten zelf

Bijlage 2 Infiltratiemeetpunten

In deze bijlage staat informatie over de verschillende infiltratiemeetpunten. De bijlage is opgedeeld in drie deelbijlagen: A (Nijmegen Lent), B (Nijmegen Oosterhout) en C (Westerpark).

Elke deelbijlage bestaat uit twee delen:

- Tabel met algemene informatie over de wadi's
- Kaarten met infiltratiemeetpunten en meetresultaten

Hieronder staat een overzicht betreffende de inhoud van de deelbijlagen:

Bijlage 2 A (Nijmegen Lent)

Tabel bijlage 2 A

Bijlage 2 A - tabel a wadi in Nijmegen Lent

Kaart bijlage 2 A

Bijlage 2 A - figuur a wadi L1

Bijlage 2 B (Nijmegen Oosterhout)

Tabel bijlage 2 B

Bijlage 2 B - tabel b wadi's in Nijmegen Oosterhout

Kaarten bijlage 2 B

Bijlage 2 B - figuur b wadi O1 Infiltratiemeetpunten

Bijlage 2 B - figuur c wadi O2 Infiltratiemeetpunten

Bijlage 2 B - figuur d wadi O4 Infiltratiemeetpunten

Bijlage 2 B - figuur e wadi O5 Infiltratiemeetpunten

Bijlage 2 C (Westerpark)

Tabel bijlage 2 C

Bijlage 2 C - tabel c Wadi's in Westerpark

Kaarten bijlage 2 C

Bijlage 2 C - figuur f wadi W1 Infiltratiemeetpunten

Bijlage 2 C - figuur g wadi W2 Infiltratiemeetpunten

Bijlage 2 C - figuur h wadi W3 Infiltratiemeetpunten

Bijlage 2 C - figuur i wadi W4 Infiltratiemeetpunten

Bijlage 2 A (Nijmegen Lent)

Bijlage 2 A - tabel a wadi in Nijmegen Lent (AHN, 2019) (PDOK, 2021) (Gemeente Nijmegen, 2021) (Google maps, 2021)

Wadi	L1
Straat	Notenlaantje
Jaar	2015
Geologische bodem	Kalkrijke poldervaaggrond
Grondverbetering	Onbekend
Grondwaterstand	VII
Lengte wadi [m]	200
Breedte wadi [m]	60
Oppervlakte wadi [m ²]	1860
Bergingsdiepte [m]	0,6
Bergingscapaciteit [m ³]	1120
Aangesloten oppervlak [m ²]	5370
Slokop aanwezig	Ja
Overstort aanwezig	Nee
Duidelijke instroompunten aanwezig	Nee
Drainagebuizen	Ja
Maaibeheer [per jaar]	Beheerniveau B (wordt meer dan 20 keer per jaar gemaaid)
Bijzonderheden	Het is een veel betreden wadi. Er loopt een wandelpad doorheen en kinderen van Basisschool De Verwondering spelen elke schooldag minstens 1 uur in deze wadi.

Lent Notenlaantje: wadi L1



0 12,5 25 50 75 100 Meters

Legenda

● L1: metingen 1 t/m 7

Wadi (L1) Meting (M)		
Infiltratiemetingen	Eenheid	Waarde
L1 M1	mm/min	1,03
L1 M2	mm/min	0,68
L1 M3	mm/min	2,92
L1 M4	mm/min	2,44
L1 M5	mm/min	2,25
L1 M6	mm/min	0,09
L1 M7	mm/min	0,44

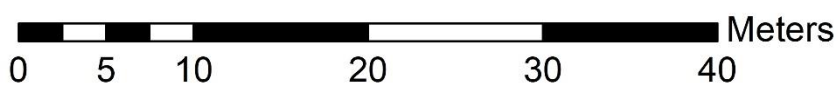
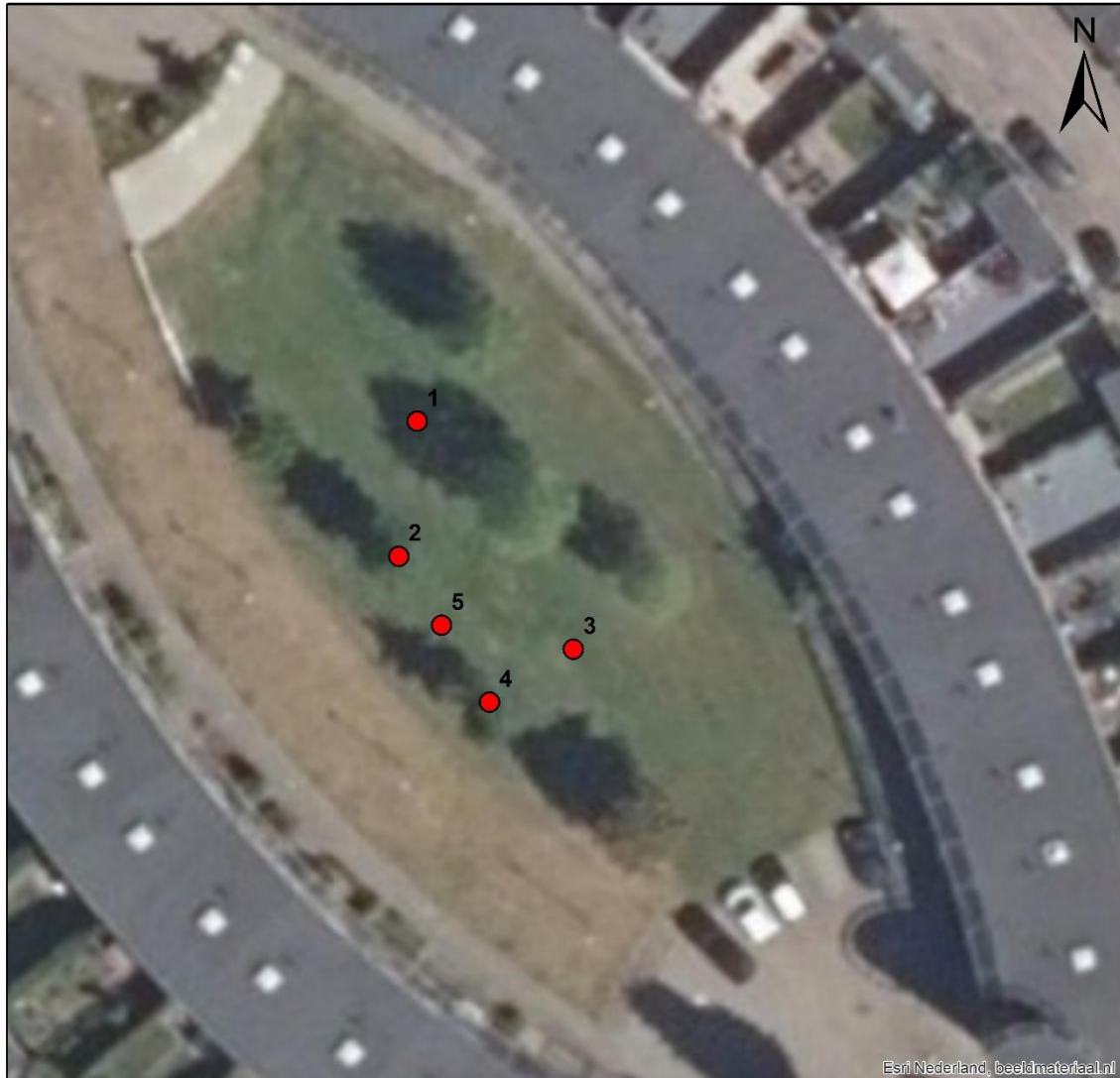
Bijlage 2 A - figuur a wadi L1 Infiltratiemeetpunten

Bijlage 2 B (Nijmegen Oosterhout)

Bijlage 2 B - tabel b wadi's in Nijmegen Oosterhout (Staller, 2021) (AHN, 2019) (PDOK, 2021) (Gemeente Nijmegen, 2021) (Google maps, 2021) (Universiteit van Wageningen, sd)

Wadi	O1	O2	O4	O5
Straat	Ligulastraat	Imbrexstraat	Aquilastraat	Aquilastraat
Jaar	2000	2003	2008	2008
Geologische bodem	Kalkhoudende ooivaaggronden	Kalkhoudende ooivaaggronden	Kalkhoudende poldervaaggronden	Kalkhoudende poldervaaggronden
Grondverbetering	Onbekend	Onbekend	Onbekend	Onbekend
Grondwatertrap	VII	VII	VI	VII
Lengte wadi [m]	51	141,5	21,5	20
Breedte wadi [m]	20	15	10	13
Oppervlakte wadi [m ²]	1060	1140	510	410
Bergingsdiepte [m]	0,4	0,4	0,6	0,6
Bergingscapaciteit [m ³]	420	460	310	245
Aangesloten oppervlak [m ²]	6940	16300 Gedeeld met wadi 03	2400	10500
Slokop aanwezig	Ja	Ja	Nee	Nee
Overstort aanwezig	Nee	Nee	Ja	Ja
Duidelijke instroompunten aanwezig	Ja	Nee	Nee	Nee
Drainagebuizen	Ja	Ja	Nee	Nee
Maaibeheer [per jaar]	Beheerniveau B (wordt meer dan 20 keer per jaar gemaaid)	Beheerniveau B (wordt meer dan 20 keer per jaar gemaaid)	Wordt als kruidenrijke vegetatie beheerd (wordt 1 keer per jaar in september gemaaid)	Beheerniveau B (wordt meer dan 20 keer per jaar gemaaid)
Bijzonderheden	Er staan bomen in de wadi	Er staan bomen in de wadi	Deze locatie heeft een afwijkend beheer van rest van de wijk	Er ligt een speeltuin in de wadi

Ligulastraat Oosterhout: wadi O1



Legenda


- O1: meting 1 t/m 5

Wadi (O1) Meting (M)		
Infiltratiemetingen	Eenheid	Waarde
O1 M1	mm/min	2,00
O1 M2	mm/min	8,63
O1 M3	mm/min	0,07
O1 M4	mm/min	2,77
O1 M5	mm/min	0,70

Bijlage 2 B - figuur b wadi O1 Infiltratiemeetpunten

Imbrexstraat Oosterhout: wadi O2



 Meters
0 5 10 20 30 40

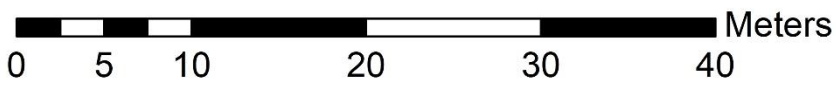
Legenda

 O2: meting 1 t/m 5

Wadi (O2) Meting (M)		
Infiltratiemetingen	Eenheid	Waarde
O2 M1	mm/min	2,50
O2 M2	mm/min	3,00
O2 M3	mm/min	1,68
O2 M4	mm/min	3,59
O2 M5	mm/min	8,80

Bijlage 2 B - figuur c wadi O2 Infiltratiemeetpunten

Aquilastraat Oosterhout: wadi O4



Legenda

● O4: meting 1 t/m 4

Wadi (O4) Meting (M)		
Infiltratiemetingen	Eenheid	Waarde
O4 M1	mm/min	5,14
O4 M2	mm/min	5,37
O4 M3	mm/min	0,41
O4 M4	mm/min	0,05

Bijlage 2 B - figuur d wadi O4 Infiltratiemeetpunten (Google maps, 2021)

Aquilastraat Oosterhout: wadi O5



0 5 10 20 30 40 Meters

Legenda

- O5: meting 1

Wadi (O5) Meting (M)		
Infiltratiemetingen	Eenheid	Waarde
O5 M1	mm/min	0,01

Bijlage 2 B - figuur e wadi O5 Infiltratiemeetpunten (Google maps, 2021)

Bijlage 2 C (Westerpark)

Bijlage 2 C - tabel c Wadi's in Westerpark (AHN, 2019) (PDOK, 2021) (Gemeente Nijmegen, 2021) (Google maps, 2021)

Wadi	W1	W2&W3	W4
Locatie	Westerpark	Westerpark	Mercuriusstraat
Jaar	Onbekend	Onbekend	Onbekend
Geologische bodem	Onbekend	Onbekend	Onbekend
Grondverbetering	Ja	Onbekend	Ja
Grondwaterstand [m]	Gemiddeld t.o.v. maaiveld: 3,2 Maaiveld t.o.v. NAP: 10,5 Gemiddeld t.o.v. NAP: 7,3 Fluctuatie: 1,0 a 6,0 De Waal heeft grote invloed op de grondwaterstand	Gemiddeld t.o.v. maaiveld: 3,2 Maaiveld t.o.v. NAP: 10,5 Gemiddeld t.o.v. NAP: 7,3 Fluctuatie: 1,0 a 6,0 De Waal heeft grote invloed op de grondwaterstand	Gemiddeld t.o.v. maaiveld: 3,7 Maaiveld t.o.v. NAP: 11 Gemiddeld t.o.v. NAP: 7,3 Fluctuatie: 1,0 a 6,0 De Waal heeft grote invloed op de grondwaterstand
Lengte wadi [m]	125	44	41
Breedte wadi [m]	110	46	45
Oppervlakte wadi [m ²]	2050	2590	1610
Bergingsdiepte [m]	1,4	W2=1,52 W3=2,25	1,86
Bergingscapaciteit [m ³]	2870	5830	2990
Aangesloten oppervlak [m ²]	22560	2230	2340
Slokop aanwezig	Nee	Nee	Nee
Overstort aanwezig	Ja	Ja	Ja
Duidelijke instroompunten aanwezig	Ja	Ja	Ja
Drainagebuizen	Nee	Nee	Nee
Maaibeheer [per jaar]	Wordt als kruidenrijke vegetatie beheerd (wordt 2 keer per jaar in juni en in september gemaaid)	W2 wordt als kruidenrijke vegetatie beheerd (wordt 1 keer per jaar in september gemaaid) W3 wordt als kruidenrijke vegetatie beheerd (wordt 2 keer per jaar in juni en in september gemaaid)	Participatiebeheer door bewoners (wordt waarschijnlijk 1 keer per jaar in september gemaaid)
Bijzonderheden	Zwerfvuil aangetroffen in de wadi	Er staan bomen in de wadi en er is een sterk heterogene ondergrond zichtbaar op maaiveldniveau	Er is een klein bos gerealiseerd (Het Biezenbos) Hierin staan 33 verschillende soorten bomen die door de kinderen van Kindcentrum Aquamarijn te Nijmegen op 28-11-2019 zijn geplant. Ook is er puin in de wadi aangetroffen.

Westerpark: wadi W1



0 10 20 40 60 80 Meters

Legenda

- W1: meting 1 t/m 4

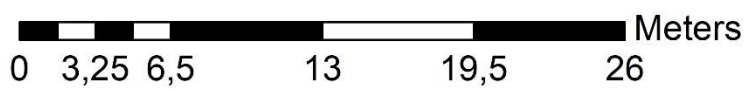
Wadi (W1) Meting (M)		
Infiltratiemetingen	Eenheid	Waarde
W1 M1	mm/min	0,30
W1 M2	mm/min	3,45
W1 M3	mm/min	1,54
W1 M4	mm/min	6,06

Bijlage 2 C - figuur f wadi W1 Infiltratiemeetpunten

Westerpark: wadi W2



Esri Nederland, beeldmateriaal.nl



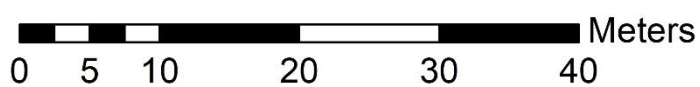
Legenda

- W2: meting 1 t/m 2

Wadi (W2) Meting (M)		
Infiltratiemetingen	Eenheid	Waarde
W2 M1	mm/min	0,60
W2 M2	mm/min	0,86

Bijlage 2 C - figuur g wadi W2 Infiltratiemeetpunten

Westerpark: wadi W3



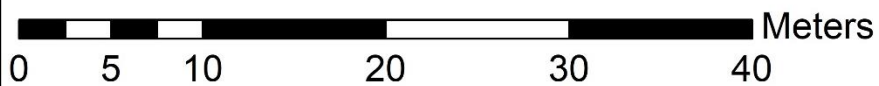
Legenda

- W3: meting 1 t/m 4

Wadi (W3) Meting (M)		
Infiltratiemetingen	Eenheid	Waarde
W3 M1	mm/min	3,41
W3 M2	mm/min	2,10
W3 M3	mm/min	1,82
W3 M4	mm/min	9,33

Bijlage 2 C - figuur h wadi W3 Infiltratiemeetpunten

Mercuriusstraat naast het Westerpark: wadi W4



Legenda

- W4: meting 1 t/m 4

Wadi (W4) Meting (M)		
Infiltratiemetingen	Eenheid	Waarde
W4 M1	mm/min	0,22
W4 M2	mm/min	1,05
W4 M3	mm/min	3,34
W4 M4	mm/min	1,94

Bijlage 2 C - figuur i wadi W4 Infiltratiemeetpunten

Bijlage 3 Onderzoeksmethodiek kiezen

Deze bijlage is afkomstig van het plan van aanpak (PVA) voor het infiltratieonderzoek. Hierin wordt uitgelegd hoe de keuze is gemaakt voor het uitvoeren van het infiltratieonderzoek met de dubbele ringinfiltrometer.

Onderzoeksmethodiek

In dit hoofdstuk worden de verschillende onderzoeksmethoden aangegeven die gedurende het project gebruikt gaan en/of kunnen worden. Dit omvat het infiltratieonderzoek, vegetatie, bodemonderzoek, gegevensverwerking, advisering en eindredactie. Het infiltratieonderzoek heeft invloed op de methodiek die zal worden gebruikt bij het bodemonderzoek en het vegetatieonderzoek. Daarom zal eerst de methode voor infiltratiemetingen worden besproken voordat de methoden voor bodem- en vegetatieonderzoek worden toegelicht.

Infiltratieonderzoek

Voor het uitvoeren van infiltratiemetingen in wadi's zijn meerdere meetmethodes mogelijk. Betreffende de verschillende infiltratiemethodes die gebruikt kunnen worden voor het onderzoeken van de wadi's, is het grootste verschil de grootte van het oppervlak waarop de test zal worden uitgevoerd. De volgorde van deze testen van klein naar groot is: puntsgewijze meting met een dubbele ringinfiltrometer, wadi gedeeltelijk vol laten lopen en als grootste de wadi vol laten lopen. Omdat dit onderzoek een focus heeft op verschillende omgevingsfactoren, is het belangrijk om te weten hoe lokaal deze factoren gemeten moeten worden. Bij het bepalen van de meest geschikte methode zal daarom worden gekeken naar drie criteria:

- Heterogeniteit van de ondergrond
- Precisie in het meten van de waterdoorlatendheid
- Arbeidsintensiviteit

Puntsgewijze meting met een dubbele ringinfiltrometer

Met deze methode wordt maar een klein oppervlak, een "punt", onderwater gezet. Het onder water zetten van het oppervlak wordt gedaan met behulp van een dubbele ringinfiltrometer. De grootte van dit oppervlak is afhankelijk van de grootte van de ringen die gebruikt worden tijdens het testen. Hierbij is het belangrijk rekening te houden met de infiltratiesnelheid van de binnenste ring om een goed beeld te krijgen van verticale infiltratie. Deze binnenste ring zal een diameter hebben van ongeveer 30 cm. In de wadi zal met deze methode op meerdere punten de infiltratiesnelheid worden gemeten om verschillen binnen een wadi waar te nemen.

Wadi gedeeltelijk vol laten lopen

Bij het gedeeltelijk vol laten lopen van een wadi is het mogelijk om een deel van de wadi af te sluiten of om een vlak afzetten binnen de wadi waarvan je graag de infiltratiesnelheid zou willen weten. Op deze manier kan je meerdere variaties in een wadi meenemen zoals bijvoorbeeld het effect van verschillende soorten plantengroepen. Omdat er maar een deel van de wadi is afgezet zou je een ander vlak binnen dezelfde wadi kunnen afzetten en mogelijk verschil in resultaten ondervinden.

Wadi geheel vol laten lopen

Bij het geheel vol laten lopen van een wadi is het mogelijk om een goed beeld te krijgen van de totale capaciteit van een wadi en een gemiddelde te krijgen van de infiltratiesnelheid verdeeld over de gehele wadi.

Methodevergelijking

Bij het vergelijken van deze drie methodes dubbele ringinfiltrometer, wadi gedeeltelijk vol laten lopen en wadi geheel vol laten lopen zijn er voor- en nadelen aan elk van de methodes. In Bijlage 3 tabel a is afgebeeld hoe de verschillende methodes scoren op de criteria die eerder in deze paragraaf genoemd zijn, namelijk:

- **Heterogeniteit van de ondergrond**
Dit omvat variaties binnen het gemeten gebied zoals verschil in vegetatie of bodemopbouw. In dit onderzoek is het belangrijk om deze verschillende factoren van elkaar te kunnen onderscheiden. Vandaar hoe minder variaties er zijn binnen een gemeten gebied des te beter een methode hierop zou scoren. Bij de beoordeling van de methoden is gekozen voor het onderscheid: Veel variatie (Rood), enigszins variatie (Oranje), weinig variatie (Groen).
- **Precisie in het meten van de waterdoorlatendheid**
Hoe precies kan een verticale infiltratiemeting worden uitgevoerd. Bij beoordeling hiervan is gekozen voor het onderscheid: niet precies (Rood), redelijk precies (Oranje), erg precies (Groen).
- **Arbeidsintensiviteit**
De gekozen methode moet niet te arbeidsintensief zijn. Als het opzetten van de meting veel moeite kost of in zijn geheel veel tijd in beslag neemt, is het onwaarschijnlijk dat deze methode gekozen zal worden. Bij beoordeling hiervan is gekozen voor het onderscheid: zeer intensief (Rood), matig intensief (Oranje), niet intensief (Groen).

Bijlage 3 tabel a Methode vergelijking

		Gehele wadi	Gedeeltelijke wadi	Puntsgewijze metingen met behulp van een ringinfiltrometer
Criteria	Heterogeniteit ondergrond	veel variatie	enigszins variatie	weinig variatie
	Precisie waterdoorlatendheid	erg precies	redelijk precies	erg precies
	Arbeidsintensiviteit	zeer intensief	zeer intensief	matig intensief

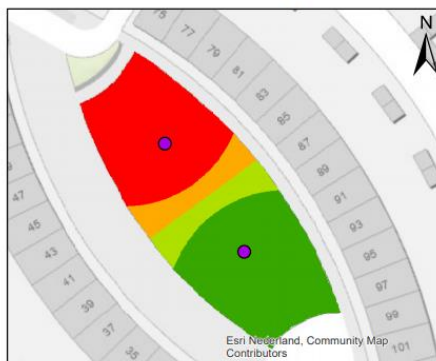
Heterogeniteit ondergrond

Om het verschil in heterogeniteit weer te geven is een fictieve situatie met een GIS programma gemaakt Bijlage 3 figuur a. Hierin is te zien wat de verwachte resultaten zouden zijn bij een wadi met een heterogene ondergrond bij het uitvoeren van de drie infiltratietesten. Er is te zien dat als je een doorlatendheid van 3m/u hebt verdeeld over de gehele wadi bij het geheel vol laten lopen van een wadi, je niet tot de conclusie kan komen dat er een hogere doorlatendheidswaarde is in het noordelijke deel van de wadi dan in het zuidelijke deel van de wadi. Zoals je dat wel kan waarnemen met de dubbele ringinfiltrometer en het gedeeltelijk vol laten lopen van de wadi. Voor een beoordeling op heterogeniteit per methode Bijlage 3 tabel b.

Bijlage 3 tabel b methode beoordeling op heterogeniteit waarnemen

Heterogeniteit ondergrond	
Gehele wadi	Het is niet mogelijk om variaties in infiltratiesnelheid waar te nemen binnen een wadi
Beoordeling: veel variatie	
Gedeeltelijke wadi	Je kan met deze test variaties in infiltratiesnelheid waarnemen, maar het is moeilijk om mogelijke variaties binnen het testgebied verder van elkaar te onderscheiden
Beoordeling: enigszins variatie	
Puntsgewijze metingen	Het gebruiken van de dubbele ringinfiltrometer heeft een groot voordeel bij het ontdekken van variatie tegenover de ander methodes, omdat de metingen op specifieke locaties kunnen worden uitgevoerd.
Beoordeling: weinig variatie	

Infiltratieonderzoek ringinfiltrometer

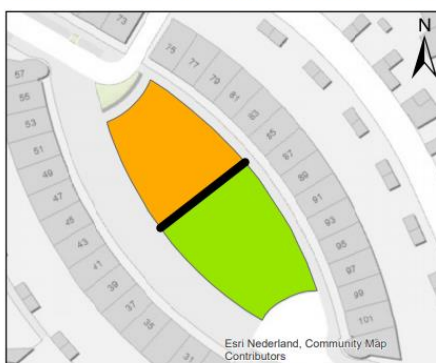


Legenda

- K waarde = Doorlatendheid in m/u**
- 2,0 - 2,5
 - 2,5 - 3,0
 - 3,0 - 3,5
 - 3,5 - 4
 - Infiltrometer meting

0 5 10 20 30 40 Meters

Infiltratieonderzoek wadi gedeeltelijk vol laten lopen

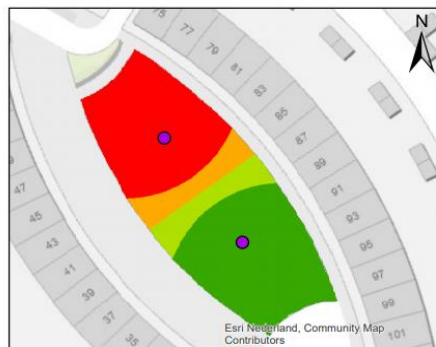


Legenda

- K waarde = Doorlatendheid in m/u**
- 2,5
 - 3,5
 - Afscheiding infiltratiegebied

0 5 10 20 30 40 Meters

Infiltratieonderzoek ringinfiltrometer



Legenda

- K waarde = Doorlatendheid in m/u**
- 2,0 - 2,5
 - 2,5 - 3,0
 - 3,0 - 3,5
 - 3,5 - 4
 - Infiltrometer meting

0 5 10 20 30 40 Meters

Bijlage 3 figuur a Infiltratieonderzoek vergelijking (fictieve gegevens)

Precisie waterdoorlatendheid

Bij het uitvoeren van een test is het belangrijk te weten hoe precies je meetresultaten zijn. In dit onderzoek wordt er gekeken naar de verticale infiltratiesnelheid. Informatie over de verticale infiltratiesnelheid is goed te verkrijgen bij alle gekozen methodes. Indien je een droog gebied hebt naast je meetpunt. Is er de mogelijkheid dat je niet alleen de verticale stroming meet, maar ook horizontale waterstroming in de meting wordt meegenomen. Dit is omdat het water geen tegen druk ondervindt van het naastgelegen droge gebied. Welk effect dit heeft op de verschillende methodes is aangegeven in Bijlage 3 tabel c.

Bijlage 3 tabel c Methode beoordeling op precisie waterdoorlatendheid

Precisie waterdoorlatendheid	
Gehele wadi Beoordeling: erg precies	Omdat de gehele wadi onderwater gezet wordt, zal de meting een goed simulatie zijn van het infiltratieproces dat bij een heftige regenbui wordt waargenomen. Ook zal het water minder mogelijkheden hebben om horizontaal weg te stromen, omdat het gehele gebied onderwater staat.
Gedeeltelijke wadi Beoordeling: redelijk precies	Bij deze proef heeft het water de mogelijkheid om in de ondergrond horizontaal weg te stromen naar het naastgelegen droge gebied. Dit maakt de verticale meting mogelijk minder accuraat.
Puntsgewijze metingen Beoordeling: erg precies	Bij deze meetmethode is het mogelijk om het waterpeil te beheersen en het geeft een goede verticale infiltratiemeting weer.

Arbeidsintensiviteit

Als een proef erg arbeidsintensief is om uit te voeren is het minder waarschijnlijk dat deze ook daadwerkelijk zal worden uitgevoerd. Hierbij kan het zijn dat het opzetten van de proef, het organiseren van het materiaal of het uitvoeren ervan een rol speelt in de arbeidsintensiviteit. Hoe dit per methode is beoordeeld wordt aangegeven in Bijlage 3 tabel d.

Bijlage 3 tabel d methode beoordeling op arbeidsintensiviteit

Arbeidsintensiviteit	
Gehele wadi Beoordeling: zeer intensief	Er is groot materiaal nodig om de proef uit te voeren, dat maakt het moeilijk om alles goed te organiseren. Ook zal het vol lopen van de wadi veel tijd in beslag nemen.
Gedeeltelijke wadi Beoordeling: zeer intensief	Er is groot materiaal nodig om de proef uit te voeren, dat maakt het moeilijk om alles goed te organiseren. Ook zal het opzetten van barrières in de wadi veel tijd in beslag nemen.
Puntsgewijze metingen Beoordeling: matig intensief	Relatief makkelijk op te zetten. Het uitvoeren van de test kan zo'n 1 tot 2 uur duren. In verhouding met de andere twee meetmethode is dit relatief kort.

Conclusie vergelijking

De infiltratietesten zullen worden uitgevoerd met de dubbele ringinfiltratometermethode Bijlage 3 figuur b. Deze methode kwam het beste uit de vergelijking voor dit onderzoek.



Bijlage 3 figuur b Dubbele ringinfiltratometer

Bijlage 4 Dubbele ringinfiltrometer methode

In deze bijlage staat informatie over het uitvoeren van infiltratiemetingen en hoe deze verwerkt zijn tot meetresultaten. De bijlage is opgedeeld in drie deelbijlagen: A (Materieel infiltratiemetingen), B (Uitvoering van de infiltratiemetingen) en C (Infiltratiemeetgegevens verwerken).

Hieronder staat een overzicht betreffende de inhoud van de deelbijlagen:

Bijlage 4 A (Materieel infiltratiemetingen)

Tabel bijlage 4 A

Bijlage 4 A - tabel a Materieel dat is gebruikt bij infiltratiemetingen in het veld

Bijlage 4 A - tabel b Infiltratiemetingstabel

Bijlage 4 B (Uitvoering van de infiltratiemetingen)

Een uitleg over het uitvoeren van infiltratiemetingen in het veld

Bijlage 4 C (Infiltratiemeetgegevens verwerken)

Een uitleg over de verwerking van de infiltratiemeetgegevens uit het veld tot meetresultaten

Bijlage 4 A (Materieel infiltratiemetingen)

Bijlage 4 A - tabel a Materieel dat is gebruikt bij infiltratiemetingen in het veld

Materieel dat is gebruikt bij infiltratiemetingen in het veld	Aantal
Roestvaststalen Infiltratiering diameter 53 cm	1
Roestvaststalen Infiltratiering diameter 28 cm	1
Houten balk	1
Terugslagvrije slaghamer	1
Waterpas	1
Plasticzijl (grondbeschermingsattribuut)	1
Spons (grondbeschermingsattribuut)	1
Duimstok	1
Stopwatch (mobiele telefoon)	1
Veldlijst (Bijlage 4 A - tabel b)	Mimimaal het aantal metingen
Schrijfblok	1
Pen	1
Emmer 10L	3
Verschillende vormen van wateropslag, Waterzakken van 80L, Emmers van 40 liter, Jerrycans 20L, Plastic melkpakken van 2L.	Ongeveer 80L aan wateropslag per meting. Beschikbaarheid van het materieel verschilde per meting.

De infiltratietabel van Bijlage 4 A - tabel b is gebruikt voor het noteren van de metingen tijdens het veldwerk.

Bijlage 4 A - tabel b Infiltratiemetings tabel

tijd			tijdsinterval	cumulatieve tijd	waterniveau		infiltratie	infiltratiesnelheid		cumulatieve infiltratie
u	m	s	min	min	aflezing na tijdsinterval mm	aflezing na vullen mm	mm	mm/min	mm/uur	mm

Bijlage 4 B (Uitvoering van de infiltratiemetingen)

Klaar maken van de meetopstelling

Bij het uitvoeren van een meting worden beide ringen van de dubbele ringinfiltrometer minstens 5 cm in de ondergrond aangebracht met de snijrand naar beneden. Het aanbrengen van de ringen gebeurt door een houten balk op een van de metalen ringen te plaatsen en vervolgens wordt met een hamer druk op de houten balk uitgeoefend. De reden dat er een houten balk gebruikt wordt, is om te voorkomen dat de metalen ring beschadigt. Tijdens het plaatsen van de ringen wordt zeker gesteld dat ze waterpas zijn geplaatst, zoals is te zien in Bijlage 4 B - figuur a. Vervolgens worden de grondbeschermingsattributen aangebracht om de ondergrond te beschermen tegen het water dat in de meetopstelling wordt gegoten. Daarna wordt een duimstok tegen de rand van de binnenste ring geplaatst, zodat het waterpeil kan worden gemeten. Deze grondbeschermingsattributen zijn een rond plastic zeil voor in de binnenring en een spons voor in de buitenring. Zodra er een laag water in zowel de binnen- als de buitenring staat, worden de spons en het plastic zeil uit de meetopstelling verwijderd. De tijd en het waterpeil in de metingen worden bijgehouden met de klok op een mobiele telefoon en genoteerd in een infiltratietabel. Een voorbeeld van zo'n invul infiltratietabel is weergegeven in Bijlage 4 A - tabel b.

Uitvoering van de metingen

Het interval waarmee de infiltratiemeetgegevens werden genoteerd was afhankelijk van de infiltratiesnelheid gedurende de meting. De infiltratiesnelheid kon namelijk sterk variëren binnen de meting zelf. Tijdens de metingen is geprobeerd om het waterpeil van de binnenste en buitenste ring zo veel mogelijk op gelijke hoogte te houden, zodat de waterdruk in beide ringen gelijk blijft. Dit was nodig om de verticale waterdruk in de binnenring zo gelijk mogelijk te houden tijdens de uitvoering van de metingen. Voor het waterpeil binnen de meetopstelling is geprobeerd een hoogte van 10 cm boven maaiveld aan te houden.

Er is niet bij elke meting eenzelfde hoeveelheid water gebruikt. Sommigen meetlocaties hadden een hogere infiltratiesnelheid dan andere en hadden voor het uitvoeren van een meting meer water nodig. Ook was het zo dat de hoeveelheid water die beschikbaar was variërende per meetdag. Bij de meeste meting in Nijmegen Oosterhout werd het water voorzien door buurtbewoners of alternatieven, zoals een sloot of een waterpomp. Maar bij de metingen in het Westerpark en Nijmegen Lent werd in hoofdzaak gebruik gemaakt van waterzakken van 80 liter per stuk. In Nijmegen Lent werd zelfs van extra jerrycans gebruik gemaakt. Voor meeste metingen is ongeveer 80 liter gebruikt.



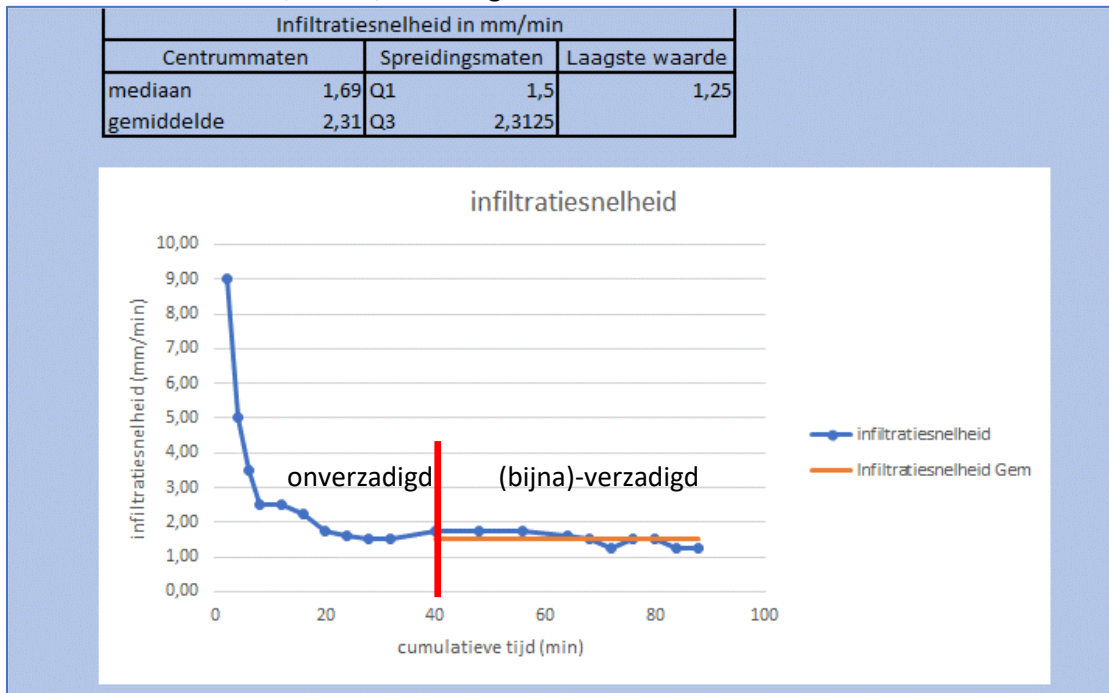
Bijlage 4 B - figuur a Meetopstelling

Bijlage 4 C (Infiltratiemeetgegevens verwerken)

In deze deelbijlage wordt uitgelegd hoe de gegevens van de infiltratiemetingen zijn gebruikt om de doorlatendheid van de ondergrond te bepalen.

Voorbeeld van infiltratiemeetgegevens verwerken

Voor het bepalen van de infiltratiesnelheid is gekeken naar de metingen in een (bijna)-verzadigde ondergrond. In Bijlage 4 C - figuur b staat een voorbeeld van een meting. Hierin is een rode lijn weergegeven die dient als scheidslijn tussen het onverzadigde en (bijna)-verzadigde deel van een meting. Onder Bijlage 4 C - figuur b staat een uitleg hoe deze scheidslijn is bepaald. De infiltratiesnelheid is bepaald door het gemiddelde te nemen van de meetwaarden uit het (bijna)-verzadigde deel van de grafiek. De meetwaarden zijn weergegeven in Bijlage 4 C - figuur b met een blauw lijn, het gemiddelde van deze metingen zijn met een oranje lijn aangegeven. Uit deze veldmeting is op basis van de metingen in een (bijna)-verzadigde ondergrond (oranje lijn) een infiltratiesnelheid van 1,54 mm/min vastgesteld.



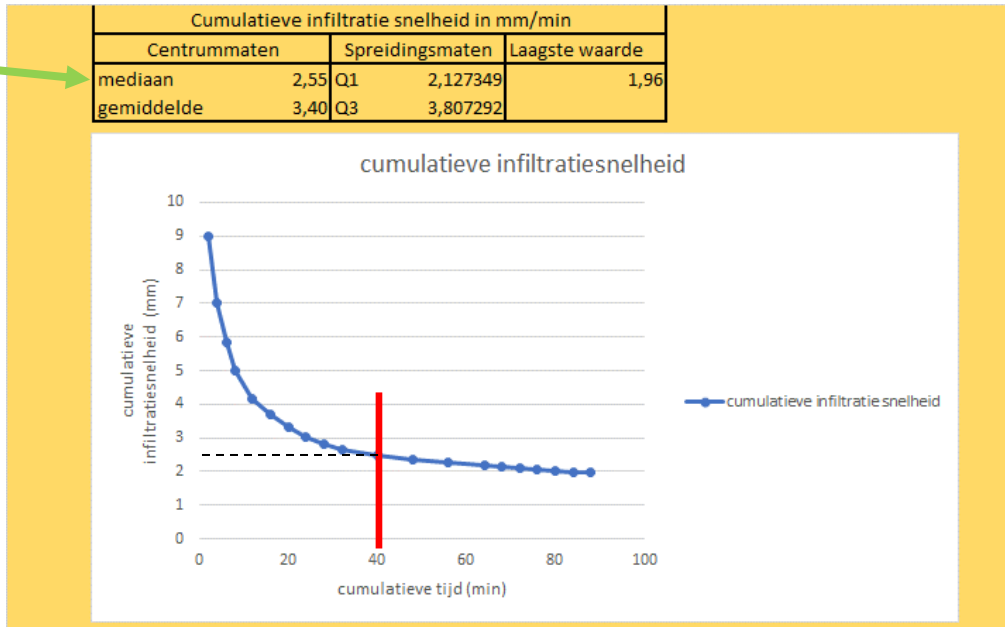
Bijlage 4 C - figuur b infiltratiemeting verwerkingsvoorbeeld (wadi W1 M3)

Splitsing tussen verzadigd en onverzadigd

Omdat grafieken van infiltratiemetingen meestal schommelingen in meetwaarden laten zien, is voor het bepalen van een scheidingslijn tussen het verzadigde en (bijna)-verzadigde deel van de meting een grafiek cumulatieve infiltratiesnelheid gemaakt, zie Bijlage 4 C - figuur c. In deze grafiek is de mediaan gebruikt voor het bepalen van een splitsing tussen verzadigd en (bijna)-verzadigd. In Bijlage 4 C - figuur c is de mediaanwaarde 2,55, deze waarde is aangewezen met een groene pijl. In de grafiek wordt deze waarde 40 minuten na de start van de infiltratiemeting bereikt.

Belangrijk om te weten van de methode

Belangrijk om te weten is dat de grafiek in Bijlage 4 C - figuur c een voorbeeld is, om een duidelijk maken hoe de scheiding tussen het onverzadigd en (bijna)- verzadigd deel van de meting kan worden bepaald. Voor het bepalen van de infiltratiesnelheid is het onverzadigde deel van de meting niet belangrijk. Deze methode is toegepast bij alle infiltratiemetingen die in het veld zijn uitgevoerd.



Bijlage 4 C - figuur c grafiek cumulatieve infiltratiesnelheid

Bijlage 5 Resultaten infiltratiemetingen

In totaal zijn er in het verslag 36 meetresultaten gebruikt. De meetresultaten zijn weergegeven in Bijlage 5 tabel a Infiltratiemeetresultaten. De metingen zijn weergegeven in mm/min, omdat alle metingen in eerste instantie met deze eenheid in de infiltratietabellen zijn genoteerd. De meetpunten corresponderen met de meetpunten op van de kaarten in bijlage 2.

Bijlage 5 tabel a Infiltratiemeetresultaten

Datum infiltratiemetingen	Locatie	Meetpunt	Infiltratiesnelheid in mm/min
13-4-2021	Nijmegen Lent	L1 M1	1,03
13-4-2021		L1 M2	0,68
13-4-2021		L1 M3	2,92
14-4-2021		L1 M4	2,44
14-4-2021		L1 M5	2,25
14-4-2021		L1 M6	0,09
14-4-2021		L1 M7	0,44
25-3-2021	Nijmegen Oosterhout	O1 M1	2,00
25-3-2021		O1 M2	8,63
25-3-2021		O1 M3	0,07
26-3-2021		O1 M4	2,77
26-3-2021		O1 M5	0,70
29-3-2021		O2 M1	2,50
29-3-2021		O2 M2	3,00
29-3-2021		O2 M3	1,68
3-5-2021		O2 M4	3,59
3-5-2021		O2 M5	8,80
16-4-2021		O4 M1	5,14
16-4-2021		O4 M2	5,37
16-4-2021		O4 M3	0,41
21-4-2021		O4 M4	0,05
21-4-2021		O5 M1	0,01
30-3-2021	Westerpark	W1 M1	0,30
31-3-2021		W1 M2	3,45
2-4-2021		W1 M3	1,54
2-4-2021		W1 M4	6,06
31-3-2021		W2 M1	0,60
31-3-2021		W2 M2	0,86
30-3-2021		W3 M1	3,41
31-3-2021		W3 M2	2,10
2-4-2021		W3 M3	1,82
2-4-2021		W3 M4	9,33
1-4-2021		W4 M1	0,22
1-4-2021		W4 M2	1,05
1-4-2021		W4 M3	3,34
1-4-2021		W4 M4	1,94

Bijlage 6 Boorlocaties, boorstaten en bodembevingingen

In deze bijlage staan veldresultaten van de uitgevoerde NEN 5104 grondboringen en een overzicht van de bevindingen die zijn gemaakt bij het onderzoeken van de omgevingsfactor Bodem.

De bijlage is opgedeeld in vijf deelbijlagen: A (Boorstaten), B (Boorlocaties Nijmegen Lent), C (Boorlocaties Nijmegen Oosterhout), D (Boorlocaties Westerpark) en E (Bodembevindingen).

Hieronder staat een overzicht betreffende de inhoud van de deelbijlagen:

Bijlage 6 A (Boorstaten)

Deze deelbijlage bevat de boorstaten van de NEN 5104 grondboringen die in samenwerking met het bedrijf SWECO zijn uitgevoerd.

De boringnummers die bij elke boorstaat horen verwijzen naar boorpunten die te vinden zijn in de kaarten van deelbijlage: B (Boorlocaties Nijmegen Lent), C (Boorlocaties Nijmegen Oosterhout) en D (Boorlocaties Westerpark)

Bijlage 6 B (Boorlocaties Nijmegen Lent)

Bijlage 6 B - figuur a wadi L1 Boorpunten: 17, 18, 19 en 20

Bijlage 6 C (Boorlocaties Nijmegen Oosterhout)

Bijlage 6 C - figuur b wadi O1 Boorpunten: 10 en 11

Bijlage 6 C - figuur c wadi O2 Boorpunten: 12 en 13

Bijlage 6 C - figuur d wadi O4 Boorpunten: 14 en 15

Bijlage 6 C - figuur e wadi O5 Boorpunten: 16

Bijlage 6 D (Boorlocaties Westerpark)

Bijlage 6 D - figuur f wadi W1 Boorpunten: 1, 2, 3 en 4

Bijlage 6 D - figuur g wadi W2&W3 Boorpunten: 5, 6 en 7

Bijlage 6 D - figuur h wadi W4 Boorpunten: 8 en 9

Bijlage 6 E Bodembevingingen

Bijlage 6 E - tabel a bodembevingingen

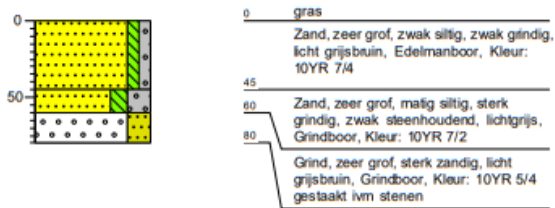
Bijlage 6 A (Boorstaten)

In verband met de leesbaarheid zijn de pagina's van de boorstaten niet verkleind. De boorstaten met legenda zijn op de volgende vijf pagina's weergegeven.

Projectnummer: FRISO_JANSEN

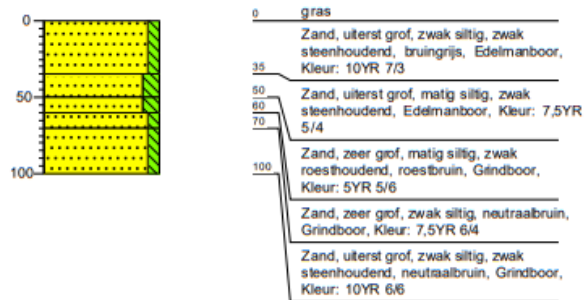
Boring: 01

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 10-5-2021



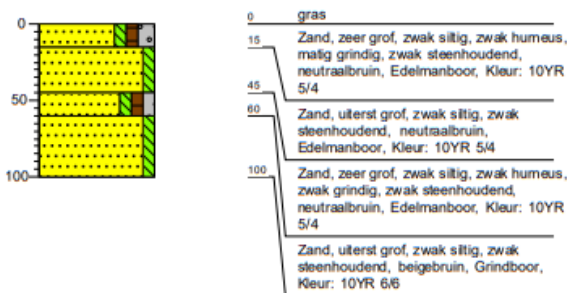
Boring: 02

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 10-5-2021



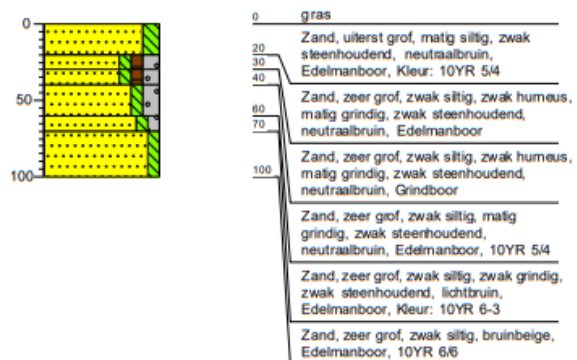
Boring: 03

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 10-5-2021



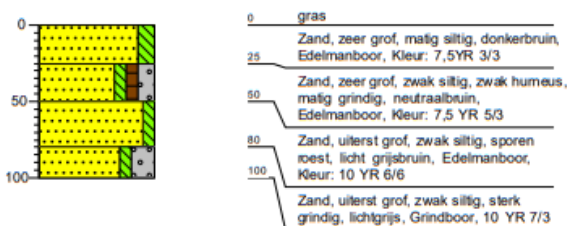
Boring: 04

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 10-5-2021



Boring: 05

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 10-5-2021



Boring: 06

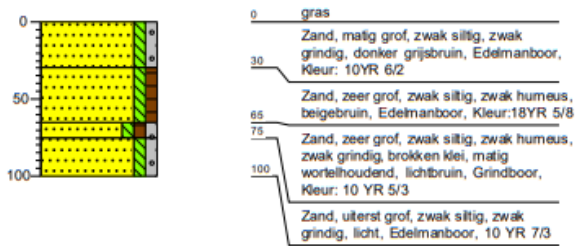
Boormeester: Friso Jansen
Datum: 10-5-2021



Projectnummer: FRISO_JANSEN

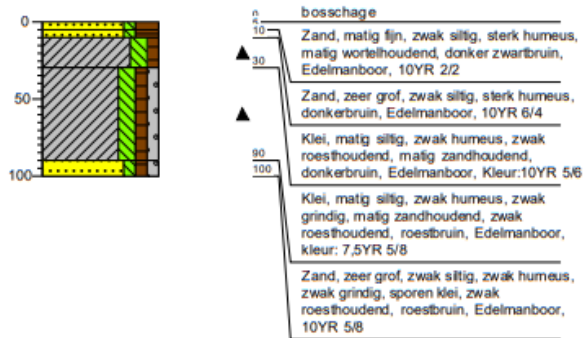
Boring: 07

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 10-5-2021



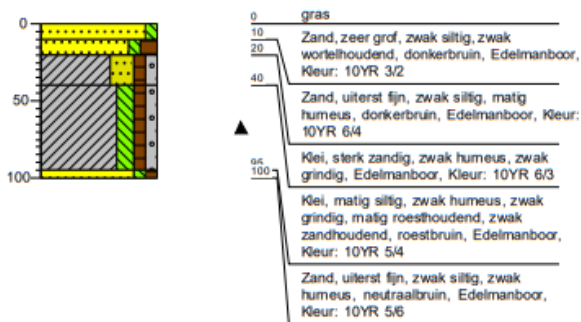
Boring: 08

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 10-5-2021



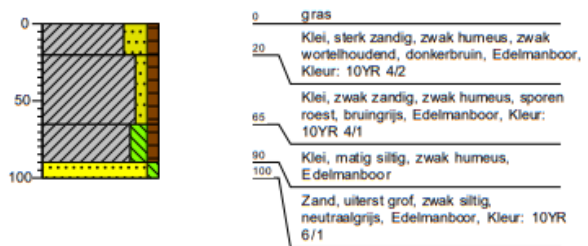
Boring: 09

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 10-5-2021



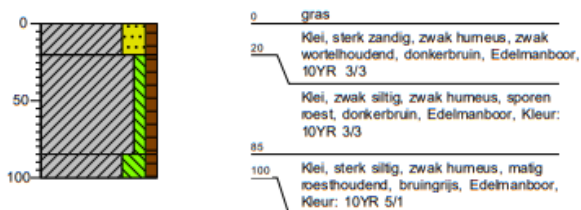
Boring: 10

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 10-5-2021



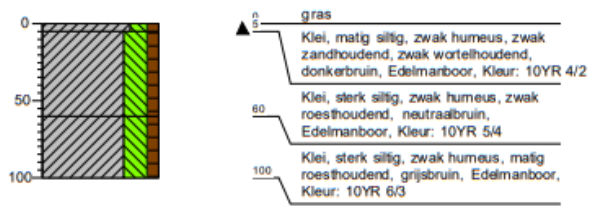
Boring: 11

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 10-5-2021



Boring: 12

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 10-5-2021



Projectnummer: FRISO_JANSEN

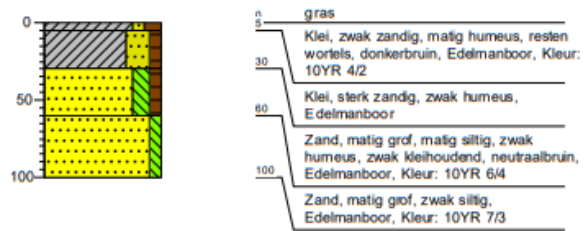
Boring: 12A

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 10-5-2021



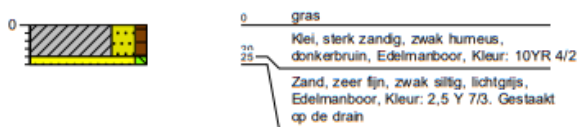
Boring: 13

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 10-5-2021



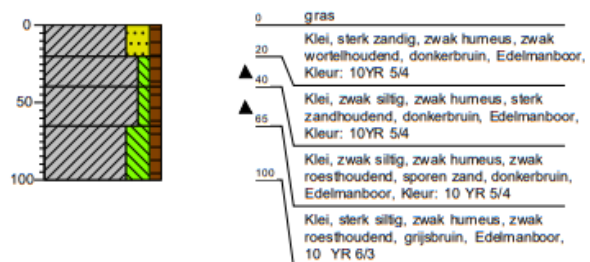
Boring: 13A

Boormeester: Armin Eulen
Datum: 10-5-2021



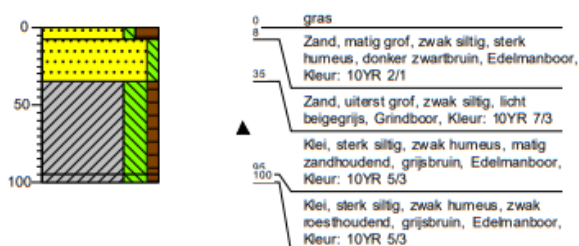
Boring: 14

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 11-5-2021



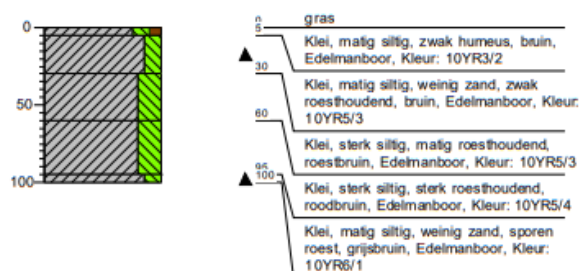
Boring: 15

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 11-5-2021



Boring: 16

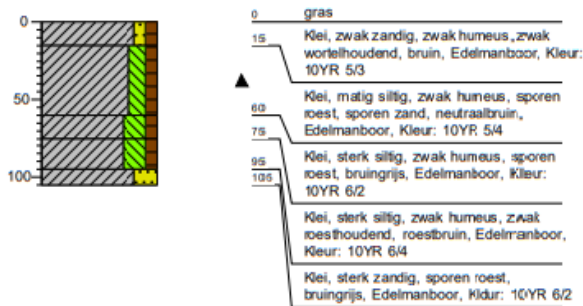
Boormeester: Friso Jansen
Datum: 11-5-2021



Projectnummer: FRISO_JANSEN

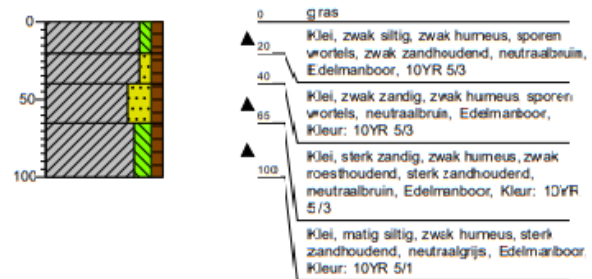
Boring: 17

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 11-5-2021



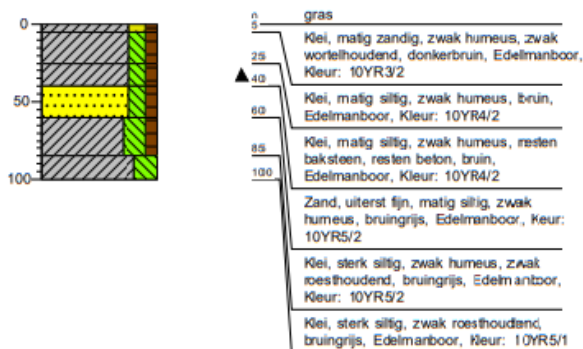
Boring: 18

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 11-5-2021



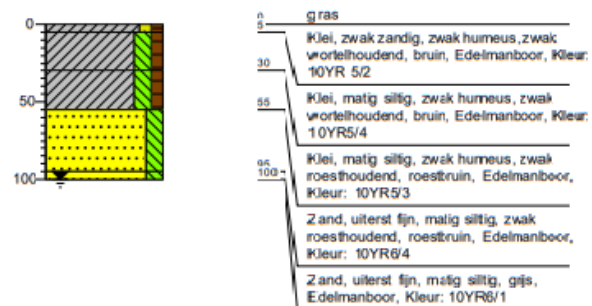
Boring: 19

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 11-5-2021



Boring: 20

Boormeester: Friso Jansen
Datum: 11-5-2021



grind



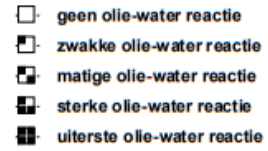
klei



geur



olie



zand



leem



p.i.d.-waarde



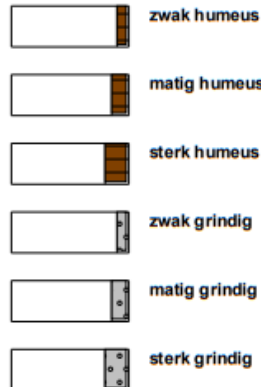
monsters



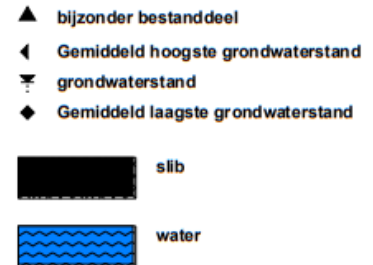
veen



overige toevoegingen



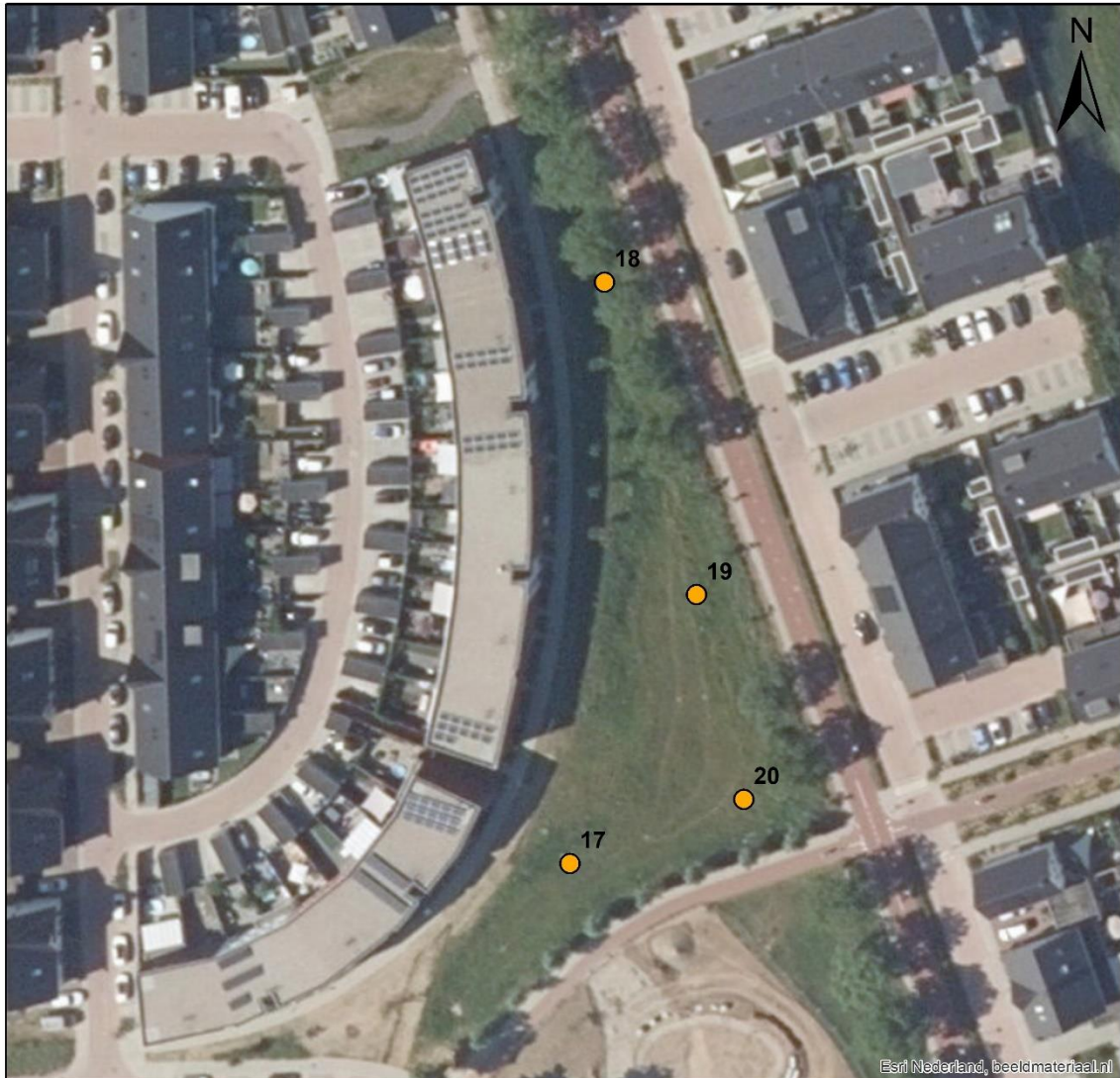
overig



peilbuis



Lent Notenlaantje: wadi L1



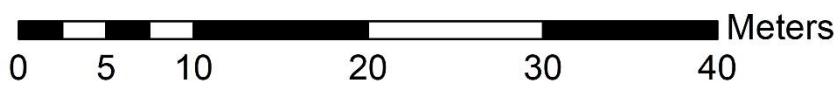
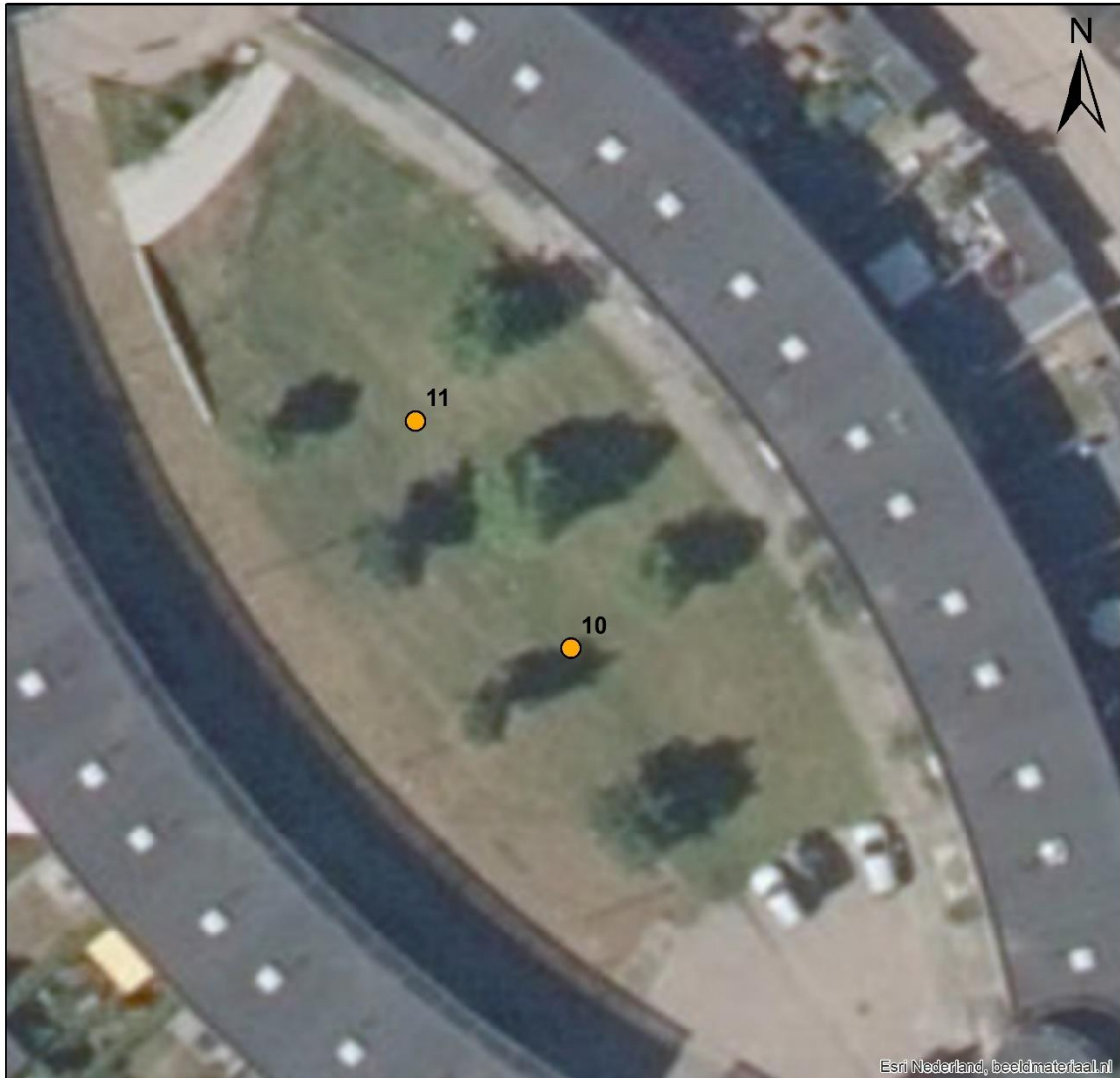
0 12,5 25 50 75 100 Meters

Legenda

● Boorlocaties

Bijlage 6 B - figuur a wadi L1 Boorpunten: 17, 18, 19 en 20

Ligulasstraat Oosterhout: wadi O1



Legenda

- Boorlocaties

Bijlage 6 C - figuur b wadi O1 Boorpunten: 10 en 11

Imbrexstraat Oosterhout: wadi O2



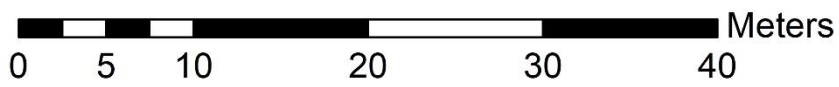
0 5 10 20 30 40 Meters

Legenda

● Boorlocaties

Bijlage 6 C - figuur c wadi O2 Boorpunten: 12 en 13

Aquilastraat Oosterhout: wadi O4



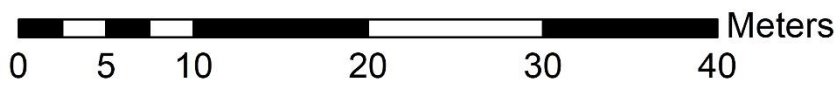
Legenda

- Boorlocaties

Bron: Google maps

Bijlage 6 C - figuur d wadi O4 Boorpunten: 14 en 15

Aquilastraat Oosterhout: wadi O5



Legenda

- Boorlocaties

Bron: Google maps

Bijlage 6 C - figuur e wadi O5 Boorpunten: 16

Westerpark: wadi W1

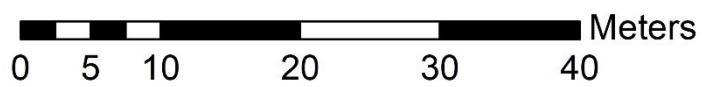


0 10 20 40 60 80 Meters

Legenda

● Boorlocaties

Westerpark: wadi W2&W3

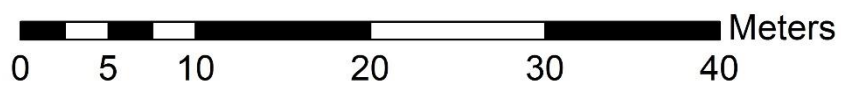


Legenda

- Boorlocaties

Bijlage 6 D - figuur g wadi W2&W3 Boorpunten: 5, 6 en 7

Mercuriusstraat naast het Westerpark: wadi W4



Legenda

- Boorlocaties

Bijlage 6 D - figuur h wadi W4 Boorpunten: 8 en 9

Bijlage 6 E (Bodembevindingen)

Bijlage 6 E - tabel a bodembevindingen

Meetpunt	Infiltratiesnelheid in mm/min	Boorpunten	Eerste 30 cm vanaf maaiveld	Metingen op een drainagebuis gemaakt	Bomen binnen 1 meter	Bomen binnen 5 meter
L1 M1	1,03	20	Klei			
L1 M2	0,68	Geen boring	Klei			
L1 M3	2,92	Geen boring	Klei			
L1 M4	2,44	19	Klei			
L1 M5	2,25	18	Klei			ja
L1 M6	0,09	17	Klei			
L1 M7	0,44	Geen boring	Klei			
O1 M1	2,00	11	Klei	ja		
O1 M2	8,63	Geen boring	Klei		ja	
O1 M3	0,07	10	Klei			
O1 M4	2,77	Geen boring	Klei		ja	
O1 M5	0,70	Geen boring	Klei			ja
O2 M1	2,50	13	Klei	ja		
O2 M2	3,00	Geen boring	Klei		ja	
O2 M3	1,68	12	Klei	ja		
O2 M4	3,59	Geen boring	Klei		ja	
O2 M5	8,80	Geen boring	Klei			ja
O4 M1	5,14	15	Zand			
O4 M2	5,37	Geen boring	Zand			
O4 M3	0,41	Geen boring	Klei			
O4 M4	0,05	14	Klei			
O5 M1	0,01	16	Klei			
W1 M1	0,30	3	Zand			
W1 M2	3,45	4	Zand			
W1 M3	1,54	2	Zand			
W1 M4	6,06	1	Zand			
W2 M1	0,60	Geen boring	Zand			
W2 M2	0,86	5	Zand			
W3 M1	3,41	Geen boring	Zand		ja	
W3 M2	2,10	7	Zand			
W3 M3	1,82	Geen boring	Zand		ja	
W3 M4	9,33	6	Zand			ja
W4 M1	0,22	Geen boring	Zand-Klei			
W4 M2	1,05	9	Zand-Klei			
W4 M3	3,34	Geen boring	Zand-Klei		ja	
W4 M4	1,94	8	Zand-Klei		ja	

Bijlage 7 Betreding

In deze bijlage staan twee kaarten die betrekking hebben op het onderzoek naar betreding. Op de kaarten worden de mate van betreding, de boorstaten en de gemeten infiltratiesnelheid aangegeven.

Hieronder staat een overzicht betreffende de inhoud van de bijlage.

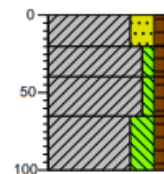
Bijlage 7 figuur e wadi's O4 en O5 betreding

Bijlage 7 figuur f wadi L1 betreding

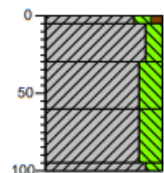
Oosterhout: wadi's O4 en O5 (betreding)



Boring: 14
Boormeester: Friso Jansen
Datum: 11-5-2021



Boring: 16
Boormeester: Friso Jansen
Datum: 11-5-2021



0 5 10 20 30 40 Meters

Legenda

- M: metingen O4 M3&4 en O5M1
- B: boorpunt 14&16

Name

- Weinig
- Matig

Legenda (conform NEN 5104)

klei

- Klei, zwak siltig
- Klei, matig siltig
- Klei, sterk siltig
- Klei, matig zandig

overige toevoegingen

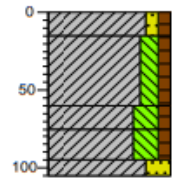
- zwak humeus

M: Infiltratiemetingen O4 en O5	B:Boorstaatnummer	Betreding	Infiltratiesnelheid in mm/min
O4: M3	-	Weinig	0,41
O4: M4	B14	Weinig	0,05
O5: M5	B16	Matig	0,01

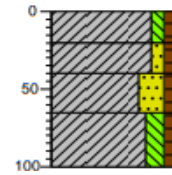
Lent Notenlaantje: wadi L1 (betreding)



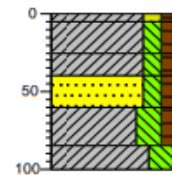
Boring: 17
Boormeester: Friso Jansen
Datum: 11-5-2021



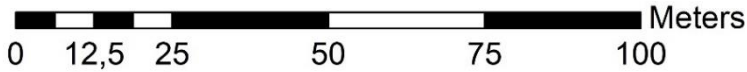
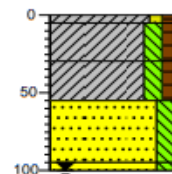
Boring: 18
Boormeester: Friso Jansen
Datum: 11-5-2021



Boring: 19
Boormeester: Friso Jansen
Datum: 11-5-2021



Boring: 20
Boormeester: Friso Jansen
Datum: 11-5-2021



Legenda

- B: boorpunt 17 t/m 20
- M: metingen 1 t/m 7

Betreding

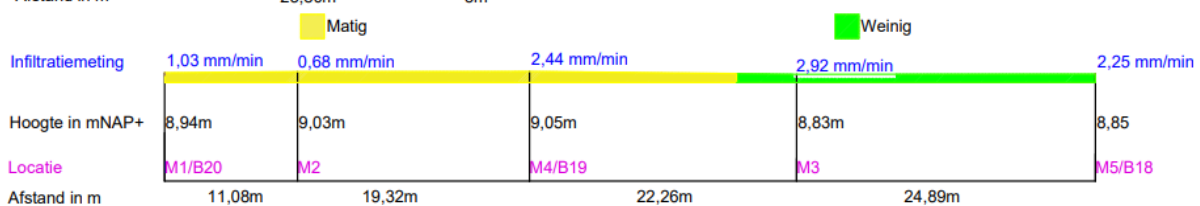
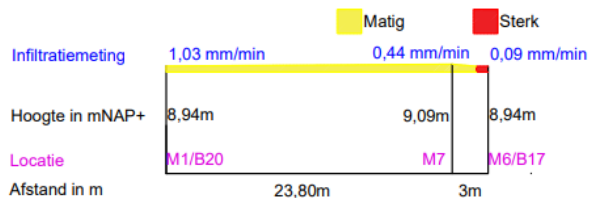
- Weinig
- Matig
- Sterk

M: Infiltratiemetingen L1	B: Boorstaatnummer	Betreding	Infiltratiesnelheid in mm/min
L1: M3	-	Weinig	2,92
L1: M5	18	Weinig	2,25
L1: M1	20	Matig	1,03
L1: M2	-	Matig	0,68
L1: M4	19	Matig	2,44
L1: M7	-	Matig	0,44
L1: M6	17	Sterk	0,09

Legenda (conform NEN 5104)

- | | | | |
|--|----------------------|--|----------------------|
| | Zand, kleiig | | Klei, zwak siltig |
| | Zand, zwak siltig | | Klei, matig siltig |
| | Zand, matig siltig | | Klei, sterk siltig |
| | Zand, sterk siltig | | Klei, uiterst siltig |
| | Zand, uiterst siltig | | Klei, zwak zandig |
| | Zand, uiterst siltig | | Klei, matig zandig |
| | Zand, uiterst siltig | | Klei, sterk zandig |
| | Zand, uiterst siltig | | zwak humeus |
| | Zand, uiterst siltig | | Klei, sterk zandig |

Dwarsprofielen Wadi L1



Bijlage 8 Aangetroffen vegetatie

In deze bijlage staan de aangetroffen soorten vegetatie in tabel a & b. De planten zijn geordend per uitgevoerde meting en wadi locatie.

Bijlage 8 tabel a aangetroffen soorten vegetatie

	Nederlands	Latijn	L1							O1					O2				
			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M1	M2	M3	M4	M5	M1	M2	M3	M4	M5
Hogere planten	Barbarakruid	Barbarea vulgaris																	
	Boerenwormkruid	Tanacetum vulgare																	
	Bosveldkers	Cardamine flexuosa																	
	Duizendblad	Achillea millefolium										ja							
	Engels raaigras	Lolium perenne	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	Grote weegbree	Plantago major subsp. major								ja									
	Hondsdraf	Glechoma hederacea		ja															
	Kamille	Matricaria																	
	Madeliefje	Bellis perennis										ja		ja					
	Moerasrolklaver	Lotus pedunculatus																	
	Paarde Bloem	Taraxacum officinale	ja	ja		ja			ja	ja		ja		ja	ja			ja	ja
	Rode klaver	Trifolium pratense	ja	ja		ja				ja							ja		
	Smalle weegbree	Plantago lanceolata		ja													ja		ja
	Veldereprijs	Veronica arvensis																	
	Vijfvingerkruid	Potentilla reptans					ja												
	Voederwikke	Vicia sativa																	
	Vroegeling	Erophila verna																	
	Witte klaver	Trifolium repens							ja										
Zachte ooievaarsbek	Geranium molle											ja	ja	ja	ja		ja	ja	
Zandhoornbloem	Cerastium semidecandrum																		
Kluwenhoornbloem	Cerastium glomeratum									ja						ja			
Bomen	Zwarte els	Alnus glutinosa Pyramidalis								ja		ja			ja		ja		
	Gewone es	Fraxinus excelsior																	
	klein bos (jonge bomen)																		
	Zwarte els op 5 m	Alnus glutinosa Pyramidalis											ja					ja	
	Gewone es op 5 m	Fraxinus excelsior																	
Okkernoot op 5 m	Juglans regia					ja													
Mossen	Fijn	Kindbergia praelonga																	
	Haakmos	Rhytidiadelphus										ja		ja		ja		ja	

Bijlage 8 tabel b aangetroffen soorten vegetatie

	Nederlands	Latijn	O4				O5	W1				W2		W3				W4			
			M1	M2	M3	M4	M1	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
Hogere planten	Barbarakruid	Barbarea vulgaris							Ja												
	Boerenwormkruid	Tanacetum vulgare								ja											
	Bosveldkers	Cardamine flexuosa																ja			
	Duizendblad	Achillea millefolium	ja																		
	Engels raaigras	Lolium perenne	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	Grote weegbree	Plantago major subsp. major																			
	Hondsdrif	Glechoma hederacea																			
	Kamille	Matricaria																ja			
	Madeliefje	Bellis perennis																		ja	
	Moerasrolklaver	Lotus pedunculatus	ja																		
	Paarde Bloem	Taraxacum officinale		ja			ja													ja	
	Rode klaver	Trifolium pratense			ja	ja	ja														
	Smalle weegbree	Plantago lanceolata			ja		ja				ja							ja			ja
	Veldereprijs	Veronica arvensis	ja	ja																	
	Vijfvingerkruid	Potentilla reptans											ja								
	Voederwikke	Vicia sativa			ja	ja															
	Vroegeling	Erophila verna	ja																		
	Witte klaver	Trifolium repens																			
	Zachte ooievaarsbek	Geranium molle	ja	ja				ja				ja	ja								
	Zandhoornbloem	Cerastium semidecandrum								ja											
Kluwenhoornbloem	Cerastium glomeratum																				
Bomen	Zwarte els	Alnus glutinosa Pyramidalis																			
	Gewone es	Fraxinus excelsior											ja		ja						
	klein bos (jonge bomen)																		ja	ja	
	Zwarte els op 5 m	Alnus glutinosa Pyramidalis																			
	Gewone es op 5 m	Fraxinus excelsior															ja				
Okkernoot op 5 m	Juglans regia																				
Mossen	Fijn	Kindbergia praelonga																ja			
	Haakmos	Rhytidiadelphus								ja	ja										

Bijlage 9 Neerslag tijdens de metingen

In deze bijlage wordt weergegeven hoeveel regen er gevallen is de periode voordat de infiltratiemetingen zijn uitgevoerd. Hierbij is steeds gekeken naar twee etmalen voor dat de infiltratiemetingen zijn uitgevoerd. Tijdens de infiltratiemetingen was het altijd droog.

Bijlage 9 tabel a Neerslaggegevens voor de infiltratiemetingen

Neerslaggegevens voor de infiltratiemetingen								
Datum	Meting	Meet nr	Cumulatieve neerslag in mm van de voorgaande twee etmalen		Datum	Meting	Meet nr	Cumulatieve neerslag in mm van de voorgaande twee etmalen
25-3-2021	O1 M1	1	0,00		2-4-2021	W1 M3	19	0,00
25-3-2021	O1 M2	2	0,00		2-4-2021	W1 M4	20	0,00
25-3-2021	O1 M3	3	0,00		2-4-2021	W3 M3	21	0,00
26-3-2021	O1 M4	4	0,00		2-4-2021	W3 M4	22	0,00
26-3-2021	O1 M5	5	0,00		13-4-2021	L1 M1	23	13,40
29-3-2021	O2 M1	6	3,90		13-4-2021	L1 M2	24	13,40
29-3-2021	O2 M2	7	3,90		13-4-2021	L1 M3	25	13,40
29-3-2021	O2 M3	8	3,90		14-4-2021	L1 M4	26	0,10
30-3-2021	W1 M1	9	1,40		14-4-2021	L1 M5	27	0,10
30-3-2021	W3 M1	10	1,40		14-4-2021	L1 M6	28	0,10
31-3-2021	W1 M2	11	0,00		14-4-2021	L1 M7	29	0,10
31-3-2021	W2 M1	12	0,00		16-4-2021	O4 M1	30	0,50
31-3-2021	W2 M2	13	0,00		16-4-2021	O4 M2	31	0,50
31-3-2021	W3 M2	14	0,00		16-4-2021	O4 M3	32	0,50
1-4-2021	W4 M1	15	0,00		21-4-2021	O4 M4	33	3,60
1-4-2021	W4 M2	16	0,00		21-4-2021	O5 M1	34	0,00
1-4-2021	W4 M3	17	0,00		3-5-2021	O2 M4	35	0,00
1-4-2021	W4 M4	18	0,00		3-5-2021	O2 M5	36	0,00

Bijlage 10 Categorieën van omgevingsfactoren en analyse

In deze bijlage staat een overzicht van alle categorieën van de omgevingsfactoren, welke infiltratie-meetgegevens er per categorie zijn gebruikt en de resultaten van de statistische testen: Tests of Normality (Kolmogorov-Smirnov) en de Kruskal-Wallis 1-way ANOVA (k sampels).

Bijlage 10 bestaat uit de deelbijlagen: A (Categorieën van de omgevingsfactoren), B (Bodem categorieën en analyse), C (Vegetatie categorieën en analyse) en D (Onderhoud categorieën en analyse). Op de volgende pagina staat inhoudelijke informatie over de inhoud van de deelbijlagen.

Hieronder staat een overzicht betreffende de inhoud van de deelbijlagen:

Bijlage 10 A (Categorieën van de omgevingsfactoren)

Bijlage 10 A - figuur a Categorieën van de omgevingsfactoren

Bijlage 10 B (Bodem categorieën en analyse)

Categorieën bijlage 10 B

Bijlage 10 B - tabel a Bodem categorieën

Statistische testen bijlage 10 B

Bijlage 10 B - tabel b Bodem Tests of Normality (Kolmogorov-Smirnov)

Bijlage 10 B - tabel c Bodem Hypothesis Test Summary (Independent-Samples Kruskal-Wallis Test)

Bijlage 10 B - tabel d Bodem Pairwise Comparisons of Categorie (Independent-Samples Kruskal-Wallis Test)

Bijlage 10 C (Vegetatie categorieën en analyse)

Categorieën bijlage 10 C

Bijlage 10 C - tabel e Vegetatie categorieën

Bijlage 10 C - tabel f Vegetatie categorieën (planten)

Statistische testen bijlage 10 C

Bijlage 10 C - tabel g Vegetatie Tests of Normality (Kolmogorov-Smirnov)

Bijlage 10 C - tabel h Vegetatie Hypothesis Test Summary (Independent-Samples Kruskal-Wallis Test)

Bijlage 10 C - tabel i Vegetatie Pairwise Comparisons of Categorie (Independent-Samples Kruskal-Wallis Test)

Bijlage 10 D (Onderhoud categorieën en analyse)

Categorieën bijlage 10 D

Bijlage 10 D - tabel j Onderhoud categorieën

Statistische testen bijlage 10 D

Bijlage 10 D - tabel k Onderhoud Tests of Normality (Kolmogorov-Smirnov)

Bijlage 10 D - tabel l Onderhoud Hypothesis Test Summary (Independent-Samples Kruskal-Wallis Test)

Inhoud deelbijlage Bijlage 10 A (Categorieën van de omgevingsfactoren)

Dit is een overzicht van alle omgevingsfactor categorieën

Inhoud van deelbijlage Bijlage 10 B, C en D (met inhoudelijke informatie over de testen):

- **Alle categorieën binnen de omgevingsfactoren**
Dit is een overzicht van alle data die voor de vergelijkingen per categorie zijn gebruikt
- **Tests of Normality (Kolmogorov-Smirnov)**
Hierin staat of de categorieën normaal verdeeld zijn. Bij een significantie groter dan 0,05 wordt een categorie als normaal verdeeld beschouwd.
- **Hypothesis Test Summary (Independent-Samples Kruskal-Wallis Test)**
Hierin wordt weergegeven of er verschil is tussen de geteste categorieën. Bij een significantie groter dan 0,05 is er geen groot verschil tussen de waarden van de geteste categorieën. Bij een significantie kleiner dan 0,05 zijn er verschillen tussen de categorieën en is er een Pairwise Comparisons of Categorie uitgevoerd.
- **Pairwise Comparisons of Categorie (Independent-Samples Kruskal-Wallis Test)**
Als de nul hypothese van de Independent-Samples Kruskal-Wallis Test (Hypothesis Test Summary) is verworpen, is er een Pairwise Comparisons of Categorie uitgevoerd. Hierbij bepaalt de grootte van de significantie of er een verschil is tussen de geteste categorieën. Met een significantie kleiner dan 0,05 is er een verschil gevonden tussen de categorieën.

Bijlage 10 A (Categorieën van de omgevingsfactoren)

Omgevingsfactoren				
	Bodem	Bodemverdichting door betreding	Vegetatie	Onderhoud
Categorieën	Drainagebuizen K Metingen boven drainagebuizen op kleigrond	Wordt niet dagelijks betreden	Hogere planten ZBM Hogere planten (zonder bomen en mossen)	Extensief 2 X maaien Z 2 keer maaien per jaar onderhoud op zandgrond
	Bomen 5 m K Naast bomen tot een afstand van 5 m op klei grond	Wordt dagelijks betreden	Bomen 5 m Bomen binnen een afstand 5 m	Extensief 1 X maaien Z 1 keer maaien per jaar onderhoud op zandgrond
	Kleigrond NBD Kleigrond (Niet naast bomen of boven drainagebuizen)	Wordt intensief dagelijks betreden	Bomen 1 m	Intensief >20 X maaien K meer dan 20 keer maaien per jaar onderhoud op kleigrond
	Zandgrond NBD Zandgrond (Niet naast bomen of boven drainagebuizen)		Mossen De alle verschillende soorten mos die zijn aangetroffen	Extensief 1 X maaien K 1 keer maaien per jaar onderhoud op kleigrond
			Haakmos	
			Rode klaver	
			Zwarte els	

Bijlage 10 B (Bodem categorieën en analyse)

Bijlage 10 B - tabel a Bodem categorieën

Bodem categorieën					
Kleigrond NBD				Drainagebuizen K	
Meetpunt	mm/min			Meetpunt	mm/min
L1 M1	1,03			O1 M1	2,00
L1 M2	0,68			O2 M3	1,68
L1 M3	2,92			O2 M1	2,50
L1 M4	2,44			gemiddelde	2,06
L1 M6	0,09				
L1 M7	0,44			Bomen 5 m K	
O1 M3	0,07			Meetpunt	mm/min
O4 M3	0,41			L1 M5	2,25
O4 M4	0,05			O1 M2	8,63
O5 M1	0,01			O1 M4	2,77
gemiddelde	0,81			O1 M5	0,70
				O2 M2	3,00
Zandgrond NBD				O2 M4	3,59
Meetpunt	mm/min			O2 M5	8,80
O4 M1	5,14			W4 M3	3,34
O4 M2	5,37			W4 M4	1,94
W1 M1	0,30			gemiddelde	3,89
W1 M2	3,45				
W1 M3	1,54				
W1 M4	6,06				
W2 M1	0,60				
W2 M2	0,86				
W3 M2	2,10				
gemiddelde	2,82				

Bijlage 10 B - tabel b Bodem Tests of Normality (Kolmogorov-Smirnov)

Tests of Normality							
Categorie		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Infiltratiesnelheid	Drainagebuizen K	0,224	3		0,984	3	0,759
	Bomen 5 m K	0,32	9	0,009	0,802	9	0,021
	Kleigrond NBD	0,251	10	0,073	0,767	10	0,006
	Zandgrond NBD	0,183	9	0,200*	0,889	9	0,195

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Bijlage 10 B - tabel c Bodem Hypothesis Test Summary (Independent-Samples Kruskal-Wallis Test)

Hypothesis Test Summary			
Null Hypothesis	Test	Sig. ^{a,b}	Decision
1 The distribution of Infiltratiesnelheid is the same across categories of Categorie.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	0,011	Reject the null hypothesis.
a. The significance level is 0,050.			
b. Asymptotic significance is displayed.			

Bijlage 10 B - tabel d Bodem Pairwise Comparisons of Categorie (Independent-Samples Kruskal-Wallis Test)

Pairwise Comparisons of Categorie					
Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Kleigrond NBD-Drainagebuizen K	8,167	5,985	1,364	0,172	1,000
Kleigrond NBD-Zandgrond NBD	-9,611	4,178	-2,301	0,021	0,214
Kleigrond NBD-K Bomen 5 m K	13,500	4,178	3,232	0,001	0,012
Drainagebuizen K-Zandgrond NBD	-1,444	6,061	-0,238	0,812	1,000
Drainagebuizen K-K Bomen 5 m K	-5,333	6,061	-0,880	0,379	1,000
Zandgrond NBD-K Bomen 5 m K	3,889	4,286	0,907	0,364	1,000
Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same.					
Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is 0,050.					
a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.					

Bijlage 10 C (Vegetatie categorieën en analyse)

Bijlage 10 C - tabel e Vegetatie categorieën

Vegetatie categorieën							
Hogere planten ZBM		Bomen 5 m		Bomen 1 m		Mossen	
Meetpunt	mm/min	Meetpunt	mm/min	Meetpunt	mm/min	Meetpunt	mm/min
L1 M1	1,03	L1 M5	2,25	O1 M2	8,63	O1 M4	2,77
L1 M2	0,68	O1 M2	8,63	W3 M1	3,41	O2 M1	2,50
L1 M3	2,92	O1 M4	2,77	W3 M3	1,82	O2 M3	1,68
L1 M4	2,44	O1 M5	0,70	O2 M4	3,59	O2 M5	8,80
L1 M6	0,09	O2 M2	3,00	O2 M2	3,00	W1 M3	1,54
L1 M7	0,44	O2 M4	3,59	O1 M4	2,77	W1 M4	6,06
O1 M1	2,00	O2 M5	8,80	gemiddelde	3,87	W4 M1	0,22
O1 M3	0,07	W3 M1	3,41			gemiddelde	3,37
O4 M1	5,14	W3 M3	1,82				
O4 M2	5,37	W3 M4	9,33				
O4 M3	0,41	W4 M3	3,34				
O4 M4	0,05	W4 M4	1,94				
O5 M1	0,01	gemiddelde	4,13				
W1 M1	0,30						
W1 M2	3,45						
W2 M1	0,60						
W2 M2	0,86						
W3 M2	2,10						
W4 M1	0,22						
W4 M2	1,05						
gemiddelde	1,46						

Bijlage 10 C - tabel f Vegetatie categorieën (planten)

Vegetatie categorieën (Planten)					
Rode klaver		Haakmos		Zwarte els	
Meetpunt	mm/min	Meetpunt	mm/min	Meetpunt	mm/min
L1 M1	1,03	O1 M4	2,77	O1 M2	8,63
L1 M2	0,68	O2 M1	2,50	O1 M4	2,77
L1 M4	2,44	O2 M3	1,68	O2 M2	3,00
O1 M1	2,00	O2 M5	8,80	O2 M4	3,59
O2 M3	1,68	W1 M3	1,54	gemiddelde	4,50
O4 M3	0,41	W1 M4	6,06		
O4 M4	0,05	gemiddelde	3,89		
O5 M1	0,01				
gemiddelde	1,04				

Bijlage 10 C - tabel g Vegetatie Tests of Normality (Kolmogorov-Smirnov)

Tests of Normality							
Categorie		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Infiltratiesnelheid	Bomen 1	0,38	6	0,007	0,741	6	0,016
	Bomen 5	0,322	12	0,001	0,799	12	0,009
	Haakmos	0,317	6	0,060	0,827	6	0,101
	Hogere planten ZBM	0,249	20	0,002	0,811	20	0,001
	Mossen	0,293	7	0,070	0,875	7	0,203
	Rode klaver	0,152	8	0,200*	0,926	8	0,481
	Zwarte els	0,378	4		0,736	4	0,028

*. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Bijlage 10 C - tabel h Vegetatie Hypothesis Test Summary (Independent-Samples Kruskal-Wallis Test)

Hypothesis Test Summary				
	Null Hypothesis	Test	Sig. ^{a,b}	Decision
1	The distribution of Infiltratiesnelheid is the same across categories of Categorie.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	<0,001	Reject the null hypothesis.

a. The significance level is 0,050.
b. Asymptotic significance is displayed.

Bijlage 10 C - tabel i Vegetatie Pairwise Comparisons of Categorie (Independent-Samples Kruskal-Wallis Test)

Pairwise Comparisons of Categorie					
Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Rode klaver-Hogere planten ZBM	4,563	7,663	0,595	0,552	1
Rode klaver-Mossen	17,920	9,481	1,890	0,059	1
Rode klaver-Haakmos	22,479	9,893	2,272	0,023	0,485
Rode klaver-Bomen 5 m	25,729	8,361	3,077	0,002	0,044
Rode klaver-Bomen 1 m	27,396	9,893	2,769	0,006	0,118
Rode klaver-Zwarte els	-31,063	11,218	-2,769	0,006	0,118
Hogere planten ZBM-Mossen	-13,357	8,045	-1,660	0,097	1
Hogere planten ZBM-Haakmos	17,917	8,527	2,101	0,036	0,748
Hogere planten ZBM-Bomen 5 m	21,167	6,689	3,164	0,002	0,033
Hogere planten ZBM-Bomen 1 m	22,833	8,527	2,678	0,007	0,156
Hogere planten ZBM-Zwarte els	-26,500	10,034	-2,641	0,008	0,174
Mossen-Haakmos	4,560	10,192	0,447	0,655	1
Mossen-Bomen 5 m	7,810	8,712	0,896	0,370	1
Mossen-Bomen 1 m	9,476	10,192	0,930	0,352	1
Mossen-Zwarte els	-13,143	11,482	-1,145	0,252	1
Haakmos-Bomen 5 m	3,250	9,159	0,355	0,723	1
Haakmos-Bomen 1 m	4,917	10,576	0,465	0,642	1

Bijlage 10 D (Onderhoud categorieën en analyse)

Bijlage 10 D - tabel j Onderhoud categorieën

Onderhoud categorieën			
Zand			
Extensief 2 X maaien Z		Extensief 1 X maaien Z	
Meetpunt	mm/min	Meetpunt	mm/min
W1 M1	0,30	O4 M1	5,14
W1 M2	3,45	O4 M2	5,37
W1 M3	1,54	W2 M1	0,60
W1 M4	6,06	W2 M2	0,86
W3 M2	2,10	W4 M1	0,22
gemiddelde	2,69	W4 M2	1,05
		gemiddelde	2,21
Klei			
Intensief >20 x maaien K		Extensief 1 X maaien K	
Meetpunt	mm/min	Meetpunt	mm/min
L1 M1	1,03	O4 M3	0,41
L1 M2	0,68	O4 M4	0,05
L1 M3	2,92	W4 M1	0,22
L1 M4	2,44	W4 M2	1,05
L1 M6	0,09	gemiddelde	0,43
L1 M7	0,44		
O1 M3	0,07		
O5 M1	0,01		
gemiddelde	0,96		

Bijlage 10 D - tabel k Onderhoud Tests of Normality (Kolmogorov-Smirnov)

Tests of Normality							
Categorie		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Infiltratiesnelheid	Intensief >20 x maaien K	0,225	8	0,200*	0,818	8	0,044
	Extensief 1 X maaien K	0,271	4		0,901	4	0,438
	Extensief 2 X maaien Z	0,206	5	0,200*	0,952	5	0,755
	Extensief 1 X maaien Z	0,353	6	0,018	0,749	6	0,019

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Bijlage 10 D - tabel I Onderhoud Hypothesis Test Summary (Independent-Samples Kruskal-Wallis Test)

Hypothesis Test Summary				
	Null Hypothesis	Test	Sig. ^{a,b}	Decision
1	The distribution of Infiltratiesnelheid is the same across categories of Categorie.	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	0,135	Retain the null hypothesis.
a. The significance level is 0,050.				
b. Asymptotic significance is displayed.				

Bijlage 11 Infiltratiemodel

In deze bijlage staat informatie betreffende het infiltratiemodel dat gebruikt in het onderzoek om het functioneren van de wadi's te onderzoeken. Het omvat drie deelbijlagen: A (Neerslaggegevens T buien), Bijlage 11 B (Modelomschrijving) en Bijlage 11 C (Gegevensoverzicht).

Hieronder staat een overzicht betreffende de inhoud van de deel bijlagen:

Bijlage 11 A (Neerslaggegevens T buien)

Bijlage 11 A - tabel b basisstatistiek neerslaggegevens 2019 T buien

Bijlage 11 B (Omschrijving infiltratiemodel)

Een omschrijving van het model dat is gebruikt.

Bijlage 11 C (Gegevensoverzicht)

Bijlage 11 C - tabel d Wadi L1 gegevensoverzicht

Bijlage 11 C - tabel e Wadi O1 gegevensoverzicht

Bijlage 11 C - tabel f Wadi O2 en O3 gegevensoverzicht

Bijlage 11 C - tabel g Wadi O4 gegevensoverzicht

Bijlage 11 C - tabel a Wadi O5 gegevensoverzicht

Bijlage 11 A (Neerslaggegevens T buien)
van basisstatistieken uit 2019

Bijlage 11 A - tabel b basisstatistiek neerslaggegevens 2019 T buien

TABEL 2 BASISSTATISTIEK VOOR HET JAAR; NEERSLAGHOEVEELHEDEN (IN MM) BIJ VERSCHILLENDE HERHALINGSTIJDEN EN NEERSLAGDUREN TUSSEN 10 MINUTEN EN 8 DAGEN. NB DE HOEVEELHEDEN IN DEZE TABEL KUNNEN VOOR PRAKTISCH GEBRUIK AFGEROND WORDEN OP HELE MILIMETERS. HIER IS DAT BEWUST NIET GEDAAN OM AFRONDINGSFOUTEN TE VOORKOMEN WANNEER DEZE GETALLEN GEKOMBINEERD WORDEN MET KLIMAATSCENARIOFACTOREN IN DEELRAPPORT 2 EN/OF DE REGIONALE SCHALINGSFACTOREN IN DEELRAPPORT 3

T [jaar]	Neerslagduur										
	10 min	30 min	60 min	2 uur	4 uur	8 uur	12 uur	24 uur	2 dagen	4 dagen	8 dagen
0.5	8.1	10.4	12.6	15.3	18.6	22.2	24.6	30.4	38.6	50.4	68.3
1	10.2	13.5	16.2	19.5	23.4	27.7	30.5	36.8	46.0	59.3	79.4
2	12.2	16.6	20.0	24.0	28.4	33.4	36.5	43.8	54.0	68.6	90.5
5	15.1	21.2	25.8	30.7	35.9	41.7	45.2	54.2	65.5	81.4	105.1
10	17.5	25.3	31.0	36.8	42.8	49.1	52.9	63.0	74.9	91.6	116.1
20	20.3	30.2	37.2	44.2	51.1	58.0	61.9	72.6	85.0	102.1	127.0
25	21.3	32.0	39.5	46.9	54.1	61.2	65.2	75.9	88.5	105.6	130.5
50	24.7	38.2	47.7	56.5	64.8	72.5	76.6	86.9	99.5	116.6	141.5
100	28.7	45.8	57.7	68.4	78.0	86.2	90.2	98.9	111.4	128.1	152.3
200	33.4	55.0	70.0	81.3	88.7	95.0	98.1	112.1	124.2	140.0	163.2
250	35.0	58.4	74.5	86.5	93.9	100.0	102.9	116.7	128.5	143.9	166.7
500	40.8	70.4	90.7	105.0	112.2	117.5	119.6	131.7	142.5	156.4	177.5
1000	47.6	84.9	110.6	127.6	134.4	138.3	139.2	148.2	157.5	169.4	188.3

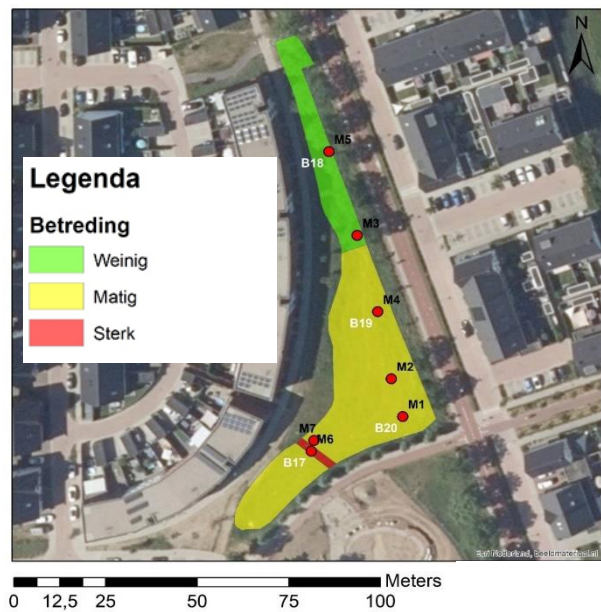
Bijlage 11 B (Omschrijving infiltratiemodel)

In deze bijlage staat omschreven hoe het infiltratiemodel functioneert.

Wadi infiltratiesnelheid bepalen

Bij het bepalen van de wadi infiltratiesnelheid is er rekening gehouden met de omgevingsfactoren. Daarom is er bij wadi's waar dit verschil een rol speelt, gekeken naar de infiltratiesnelheid van delen van de wadi. In Bijlage 11 B - figuur a is een voorbeeld te zien hoe wadi L1 is opgedeeld in verschillende delen op basis van de omgevingsfactor Bodem verdichting door betreding. In tabel in Bijlage 11 B - figuur b wordt weergegeven hoe groot de oppervlakte van ieder deel is en wat de gemiddelde infiltratiesnelheid per deel is. Tevens staat in deze figuur de formule die gebruikt is om de infiltratiesnelheid van de gehele wadi te bepalen.

Lent Notenlaantje: wadi L1 (betreding)



Bijlage 11 B - figuur a opdeling wadi op basis van omgevingsfactoren

Bijlage 11 B - tabel c Voorbeeld tabel opdeling wadi op basis van omgevingsfactoren

$\frac{(A_{c1} * I_{c1}) + (A_{c2} * I_{c2}) + (A_{c3} * I_{c3}) + (A_{c4} * I_{c4})}{A_w} = I_w$				
Betreding	Gemiddelde infiltratiesnelheid per categorie (I_c)	Oppervlak per categorie (A_c)	Totaal oppervlak wadi (A_w)	Gemiddelde Infiltratiesnelheid wadi (I_w)
Categorieën	mm/min	m ²	m ²	mm/min
Weinig	2,59	390	1860	1,44
Matig	1,15	1440		
Sterk	0,09	30		

Gebruik van het model

In Bijlage 11 B - figuur staat de formule die voor het model is gebruikt. Bij het gebruik van dit model is de maximale hoogte van het waterpeil gerelateerd aan de aanwezigheid van een overstort of slokop, omdat het water wordt afgevoerd als het waterpeil op dezelfde hoogte komt als de overstort of de slokop. Als er in de wadi geen overstort of slokop aanwezig is, dan is de diepte van de wadi de maximale waterhoogte die in het model kan voorkomen.

Legenda formule		$\left(\frac{N * (A_a + A_w)}{A_w} + P_{oud} \right) - I_w * T = P_{nieuw}$
N	= hemelwater neerslag (mm)	
A _a	= aangesloten oppervlak (m ²)	
A _w	= wadi oppervlak (m ²)	
I _w	= infiltratiesnelheid (mm/uur)	
T	= tijd (uur)	
P _{oud}	= oude waterpeil in de wadi (mm)	
P _{nieuw}	= nieuwe waterpeil in de wadi (mm)	
D	= diepte van de wadi (mm)	
O	= overstort of slokophoogte (mm)	

Als (P_{nieuw}) groter is dan (O) dan zal het waterpeil in het model niet hoger komen dan de hoogte van de overstort of slokop. Indien er geen overstort of slokop aanwezig is, dan is de hoogte (D) de maximale hoogte van het model.

Bijlage 11 B - figuur c model formule

Bijlage 11 C (Gegevensoverzicht)

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van de informatie die per wadi voor het rekenmodel is gebruikt.

Bijlage 11 C - tabel d Wadi L1 gegevensoverzicht

Wadi L1								
$\frac{(A_{c1} * I_{c1}) + (A_{c2} * I_{c2}) + (A_{c3} * I_{c3}) + (A_{c4} * I_{c4})}{A_w} = I_w$								
Betreding	Gemiddelde infiltratiesnelheid per categorie (I_c)	Oppervlak per categorie (A_c)	Totaal oppervlak wadi (A_w)	Gemiddelde infiltratiesnelheid wadi (I_w)		Bergingsdiepte vanaf het maaiveld (D)	Aangesloten oppervlak (A_a)	Overstort of slokop hoogte vanaf het maaiveld (O)
Categorieën	mm/min	m2	m2	mm/min	m/dag	m	m2	m
Weinig	2,59	390	1860	1,44	2,07	0,6	5370	0,2
Matig	1,15	1440						
Sterk	0,09	30						

Bijlage 11 C - tabel e Wadi O1 gegevensoverzicht

Wadi O1								
$\frac{(A_{c1} * I_{c1}) + (A_{c2} * I_{c2}) + (A_{c3} * I_{c3}) + (A_{c4} * I_{c4})}{A_w} = I_w$								
	Gemiddelde infiltratiesnelheid per categorie (I_c)	Oppervlak per categorie (A_c)	Totaal oppervlak wadi (A_w)	Gemiddelde infiltratiesnelheid wadi (I_w)		Bergingsdiepte vanaf het maaiveld (D)	Aangesloten oppervlak (A_a)	Overstort of slokop hoogte vanaf het maaiveld (O)
Categorieën	mm/min	m2	m2	mm/min	m/dag	m	m2	m
-	-	-	1060	0,92	1,33	0,4	6940	0,25

Bijlage 11 C - tabel f Wadi O2 en O3 gegevensoverzicht

Wadi O2 en O3						
$\frac{(A_{c1} * I_{c1}) + (A_{c2} * I_{c2}) + (A_{c3} * I_{c3}) + (A_{c4} * I_{c4})}{A_w} = I_w$						
	Gemiddelde infiltratiesnelheid per categorie (I_c)	Oppervlak per categorie (A_c)	Totaal oppervlak wadi (A_w)	Gemiddelde infiltratiesnelheid wadi (I_w)		Bergingsdiepte vanaf het maaiveld (D)
Categorieën	mm/min	m2	m2	mm/min	m/dag	Aangesloten oppervlak (A_a)
-	-	-	2100	2,09	3,01	Overstort of slokop hoogte vanaf het maaiveld (O)
						m
						0,4
						16300
						0,4

Bijlage 11 C - tabel g Wadi O4 gegevensoverzicht

Wadi O4						
$\frac{(A_{c1} * I_{c1}) + (A_{c2} * I_{c2}) + (A_{c3} * I_{c3}) + (A_{c4} * I_{c4})}{A_w} = I_w$						
Bodem	Gemiddelde infiltratiesnelheid per categorie (I_c)	Oppervlak per categorie (A_c)	Totaal oppervlak wadi (A_w)	Gemiddelde infiltratiesnelheid wadi (I_w)		Bergingsdiepte vanaf het maaiveld (D)
Categorieën	mm/min	m2	m2	mm/min	m/dag	Aangesloten oppervlak (A_a)
Klei	0,23	300	510	2,31	3,33	Overstort of slokop hoogte vanaf het maaiveld (O)
Zand	5,26	210				m
						0,6
						2400
						0,5

Bijlage 11 C - tabel h Wadi O5 gegevensoverzicht

Wadi O5						
$\frac{(A_{c1} * I_{c1}) + (A_{c2} * I_{c2}) + (A_{c3} * I_{c3}) + (A_{c4} * I_{c4})}{A_w} = I_w$						
	Gemiddelde infiltratiesnelheid per categorie (I_c)	Oppervlak per categorie (A_c)	Totaal oppervlak wadi (A_w)	Gemiddelde infiltratiesnelheid wadi (I_w)		Bergingsdiepte vanaf het maaiveld (D)
Categorieën	mm/min	m2	m2	mm/min	m/dag	Aangesloten oppervlak (A_a)
	-	-	410	0,01	0,014	Overstort of slokop hoogte vanaf het maaiveld (O)
						m
						0,6
						10500
						0,5

