



De zomer van de toekomst: Watervoerende of droogstaande beek

Onderzoek naar droogte mitigerende maatregelen in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa

10-6-2020

Kragten

Merel van den Berg en Brechtje Pieterse

De zomer van de toekomst: Watervoerende of droogstaande beek?

Subtitel: *Onderzoek naar droogte mitigerende maatregelen in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa*

Foto voorkant links: Gemaakt door B. Pieterse, 05-02-2020

Foto voorkant rechts: (RTV Nunspeet, 2019)

Opdrachtgever: Kragten

Onderzoek: Droogte in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa

Status: Definitief

Plaats en datum: 's-Hertogenbosch, 10 juni 2020

Auteurs: Merel van den Berg

Email: merelvandenberg@outlook.com

Telefoon: +31 88 33 66 314

+31 6 34 56 61 44

Brechtje Pieterse

Email: brechtjepieterse@hotmail.com

Telefoon: +31 88 33 66 317

+31 6 25 00 10 64

Opleiding: Land- en Watermanagement

Interne begeleider: Anouk Berendsen-Sloot

Namens: Hogeschool van Hall Larenstein

Email: anouk.berendsen@hvhl.nl

Externe begeleider: Caspar Cluitmans

Namens: Kragten

Email: cc@kragten.nl

Voorwoord

Voor u ligt de rapportage “De zomer van de toekomst: Watervoerende of droogstaande beek?”, een onderzoek naar droogte mitigerende maatregelen welke geïmplementeerd kunnen worden in de beken de Snelle Loop en de Bakelse Aa. Deze rapportage is opgesteld in opdracht van ingenieursbureau Kragten. Dit onderzoek is uitgevoerd voor het ingenieursbureau om een betere weergave te hebben over wat droogte voor effecten heeft in een beekstelsysteem en hoe deze effecten gemitigeerd kunnen worden.

Droogte is sinds 2018 een steeds belangrijker onderwerp geworden. Tijdens onze studie Land- en Watermanagement hebben wij veel gedaan met wateroverlast en maar weinig met droogte. Vandaar onze interesse in het onderwerp. De actualiteit van droogte tijdens dit onderzoek zorgde voor een veelzijdig onderzoek.

Door COVID-19 is veel anders gelopen dan dat we hadden verwacht tijdens dit onderzoek en hierdoor hebben we ons aan moeten passen. Wij willen graag Caspar Cluitmans en Anouk Berendsen-Sloot bedanken voor de begeleiding tijdens dit onderzoek. Zij hebben ons erg geholpen door het delen van hun kennis en het vrijmaken van hun tijd. We konden jullie altijd bereiken door te bellen en dat waarderen wij zeker.

Wij hebben naast begeleiding ook hulp gehad van andere personen. Zo heeft Roos Lindemulder ons geholpen met verschillende inzichten in dit onderzoek. Daarnaast heeft Jos Kruit van Waterschap Aa en Maas ons erg geholpen met informatie binnen het waterschap en informatie over de verschillende aanpakken die gebruikt worden tijdens een droge periode. Tevens heeft Emmy Zwier van Waterschap Aa en Maas ons geholpen met het leveren van de benodigde, hydrologische data van de twee beeksystemen. Jeroen Peter, Leon Baanders en Anne Kerkhoven hebben ons erg geholpen op het gebied van GIS en de WaterWijzers. Inhoudelijk en tekstueel hebben Saskia Schrauwen en Inge Schugard ons goed vooruitgeholpen. Wij zijn de bovengenoemde personen erg dankbaar voor hun hulp.

Uiteraard willen we Caspar Cluitmans nog extra bedanken voor de hulp op locatie, de digitale hulp en de fijne manier van feedback geven. Tevens willen wij Paul van Zandvoort bedanken voor het introduceren van ons bij Kragten en de hulp waar nodig.

Wij wensen u veel leesplezier!

Merel van den Berg en Brechtje Pieterse

's-Hertogenbosch, woensdag 10 juni 2020

Begrippenlijst

ADCP: Accoustic Doppler Current Profiler. Dit kan gebruikt worden om stromingspatronen te analyseren.

Anoxisch: Zonder zuurstof.

ArcGIS: ArcGIS is een geografisch informatiesysteem (GIS) voor het werken met kaarten. De geografische informatie wordt onderhouden door het Environmental Systems Research Institute (Esri).

Atmosferische processen: zijn processen die in de lucht plaatsvinden.

Bodemvocht: Is het water in de onverzadigde zone boven de grondwaterspiegel.

Droogtestress: Het aantal dagen dat de vochtspanning in de bovengrond dichtbij of op het verwelkingspunt ligt (Runhaar & Hennekens, 2014) (wanneer de drukhoogte in het midden van de wortelzone lager is dan 120 centimeter (Jansen & Runhaar, 2005)).

Doelrealisatie: Is de mate waarin de huidige waterhuishouding voldoet. De doelrealisatie is honderd procent wanneer de functie zonder enige hydrologische beperking kan worden vervuld, en nul procent wanneer de hydrologische condities zodanig zijn dat de functie niet kan worden vervuld. Voor de natuur betekent een doelrealisatie van honderd procent dat het geplande natuurdoeltype zonder beperkingen kan worden gerealiseerd, en nul procent dat het type niet gerealiseerd kan worden (Runhaar & Hennekens, 2014).

Eutrofiëring: Het overmatig vermeerderen van de voedselrijkdom in water.

Gebiedseigen water: Water wat binnen het stroomgebied van een beek beschikbaar is voor het voeden van de beek en het water dat beschikbaar is als bodemvocht in het stroomgebied van de beek.

GHG: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand.

GLG: Gemiddeld Laagste Grondwaterstand.

GVG: Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand.

GXG: Een afkorting voor Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG), Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) en Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG).

Hydrologische cyclus: De waterkringloop.

Hyporheïsche zone: Het gebied van sediment en poreuze ruimte onder en naast een beek, waar menging plaatsvindt van ondiep grondwater en oppervlaktewater (van der Hoek & Higler, 1993).

KNMI: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.

MCA: Multicriteria-Analyse is een evaluatiemethode waarmee tussen diverse alternatieven (zoals maatregelen) een keuze gemaakt kan worden door gebruik te maken van verscheidene onderscheidingscriteria.

Microbiële gemeenschappen: Een groep micro-organismen die op één dezelfde plaatst leven.

Oeverzone: Waar land en water elkaar ontmoeten. Deze zone is belangrijk voor de gezondheid van beken, omdat het bijdraagt aan de balans van voedingsstoffen, zuurstof en sediment. Tevens beschermt de oeverzone de waterloop tegen verontreiniging (Coördinatie Commissie Integraal Waterbeleid, sd).

Terrestrische vegetatie: Vegetatie dat met de wortels op het 'land' is gevestigd.

Samenvatting

Sinds de extreme droogte van de zomer van 2018 is de bewustwording ten aanzien van de droogteproblematiek sterk aangescherpt. Ingenieursbureau Kragten wil hierop inspelen door expertise op het gebied van droogte-aanpak op te bouwen om waterschappen te kunnen adviseren. In dit onderzoek wordt deze droogte-aanpak gericht op het beheergebied van Waterschap Aa en Maas. Tijdens de extreme droogte van 2018 is zeventig procent van de waterlopen in het beheergebied van Waterschap Aa en Maas drooggevallen, waaronder de Snelle Loop en de Bakelse Aa. Dit onderzoek dient als kennisonderzoek voor Kragten en als advies voor Waterschap Aa en Maas. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld:

Welke maatregelen dragen bij aan het voorkomen en/of mitigeren van de effecten van droogte in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa?

Om deze onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden is allereerst de huidige (geo)hydrologische situatie van de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa onderzocht middels literatuurstudie. Uit deze analyse zijn de twee beeksystemen omschreven en met elkaar vergeleken. Gebleken is dat beide beken op een dik zandpakket liggen en dat zowel de benedenloop van de Snelle Loop als de beken in het beekstelsel van de Bakelse Aa worden gevoed door kwel en inlaatwater. Landbouw is het meest voorkomende landgebruik binnen beide beeksystemen. Door het hoge percentage landbouw wordt meer bergend, vindt meer ondergrond verdichting plaats en is meer buisdrainage aanwezig. Dit zorgt voor een hogere gevoeligheid voor droogte.

Vervolgens zijn de effecten van droogte op beeksystemen onderzocht. Uit deze analyse blijkt dat de effecten van droogte aan elkaar gekoppeld zijn. Het begint in een droge periode met de afname van neerslag en een toename van verdamping. Deze ontwikkelingen zorgen voor een daling in het oppervlaktewaterpeil en debiet, een stijging van de oppervlaktewatertemperatuur, een daling van het grondwaterpeil, een daling van het percentage bodemvocht en verdroging van de vegetatie. Deze effecten zorgen weer voor secundaire effecten zoals het verslechteren van de waterkwaliteit. Aan de hand van de geanalyseerde effecten is onderzocht welke gebieden in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa kwetsbaar zijn voor droogte. Hiervoor zijn de WaterWijzer Natuur en de WaterWijzer Landbouw gebruikt. Uit de analyse met de WaterWijzers blijkt dat de kwetsbaarste natuur- en landbouwgebieden zich langs de midden- en benedenloop van de Snelle Loop, de Kawaise Loop en de Bakelse Aa bevinden. Gebaseerd op de effecten van droogte en door middel van literatuurstudie zijn verschillende maatregelen samengesteld. Aan de hand van een Multicriteria-Analyse is de effectiviteit van de maatregelen binnen een beekstelsel getoetst. Vanuit deze toetsing zijn de vijf beste maatregelen getest op effectiviteit binnen de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa. Hieruit blijkt dat een samenstelling van de maatregelen aanpassen landgebruik, meanderen, verbreden en verondiepen van het beekprofiel en het verminderen van bodemverdichting het effectiefst is om de effecten van droogte in beide beeksystemen te voorkomen en/of te verminderen.

Inhoud

1.	Inleiding	1
1.1.	Aanleiding	1
1.2.	Probleemstelling	1
1.3.	Definiëring droogte binnen dit onderzoek	2
1.4.	Doelstelling en resultaat	3
1.5.	Onderzoeksvraag en deelvragen	3
1.6.	Afbakening	3
1.7.	Leeswijzer	5
2.	Methodiek	6
2.1.	Gebiedsanalyse	6
2.2.	Effecten van droogte	7
2.3.	Potentiële maatregelen	8
2.4.	Multicriteria-analyse (MCA)	8
2.5.	Maatregelenpakket	8
3.	Gebiedsanalyse	9
3.1.	Grondwatersysteem	9
3.2.	Oppervlaktewatersysteem	11
3.3.	Vergelijking	20
4.	Effecten van droogte	21
4.1.	Primair	22
4.2.	Secundair	24
4.3.	WaterWijzer Natuur	26
4.4.	WaterWijzer Landbouw	29
4.5.	Kwetsbare gebieden	30
5.	Potentiële maatregelen	32
6.	Multicriteria-Analyse	37
7.	Maatregelenpakket	41
7.1.	Effectiviteit maatregelen in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa	41
7.2.	Locatie toepassing maatregelen	45
8.	Conclusie	48
9.	Discussie	49
10.	Aanbevelingen	50
	Bibliografie	I
	Bijlage 0: Reflectie	VII
	Bijlage 1: Uitleg droogte	IX

Bijlage 2: Vooronderzoek gebiedsanalyse.....	X
2.1. Geologie.....	X
2.2. Bodem	XIII
2.3. Ligging boven-, midden- en benedenloop van de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa	XV
Bijlage 3: Meetlocaties grondwaterstanden	XVI
Bijlage 4: Vistrappen.....	XX
Bijlage 5: Onderbouwing WaterWijzer Natuur	XXII
Bijlage 6: Analyse droogte 2003 en 2018	XXIV
Bijlage 7: Analyse WaterWijzer Landbouw	XXV
Bijlage 8: Onderbouwing WaterWijzer Landbouw.....	XXVI
Bijlage 9: Maatregelen	XXVII
9.1. Inrichtingsmaatregelen	XXVII
9.2. Beheermaatregelen.....	XXXII
Bijlage 10: Onderbouwing Multicriteria-Analyse	XXXVI
10.1. Inrichtingsmaatregelen	XXXVI
10.2. Beheermaatregelen.....	XXXIX

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

Volgens de huidige voorspelde klimaatrend zullen extreme neerslag en droogte frequenter gaan optreden (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, 2014; Rijksoverheid, 2016). De verandering in het klimaat heeft gevolgen voor het landschap en het beheer hiervan. De extreme droogte in de zomer van 2018 heeft veel effecten gehad op waterlopen en het grondwatersysteem. Op de hogere zandgronden in Nederland ontstonden problemen met de watervoorziening voor zowel natuur als landbouw. Deze problemen uitte zich onder andere in het droogvallen van waterlopen en poelen. De landbouwopstanden waren lager dan gemiddeld en veel natuurgebieden liepen schade op (van den Eertwegh et al., 2019).

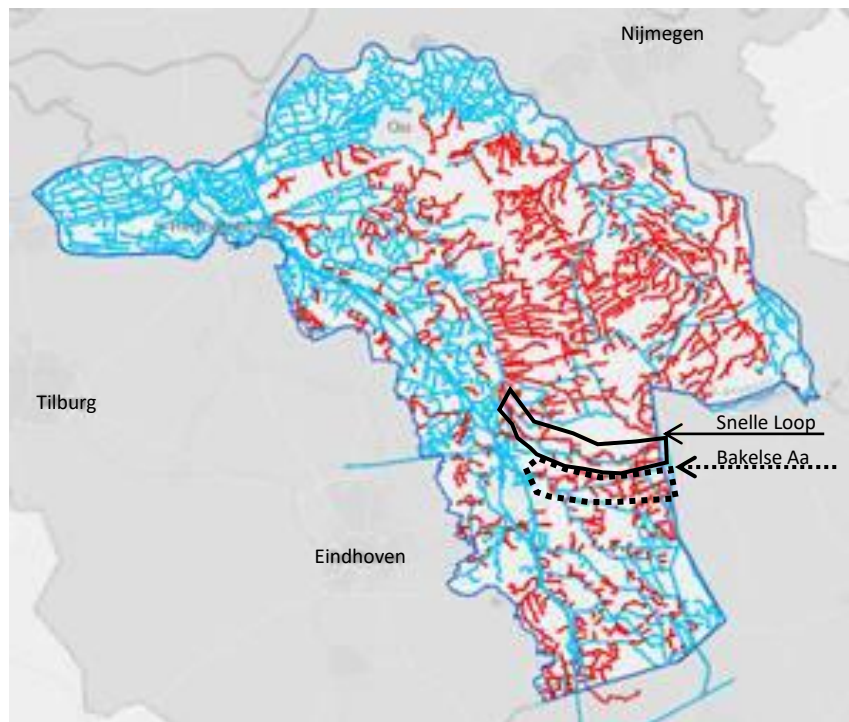
Voorals sinds de extreme droogte van de zomer van 2018 is men zich binnen de waterschappen bewust van de noodzaak van de aanpak van de droogteproblematiek. Het beleid van de waterschappen, op de hogere zandgronden, richt zich veel sterker op het langer vasthouden van water in plaats van het versneld afvoeren hiervan. Ingenieursbureau Kragten speelt hierop in door expertise op het gebied van droogte-aanpak op te bouwen om vervolgens de waterschappen op dit vlak te kunnen adviseren. Onderhavige afstudeeropdracht maakt hier onderdeel van uit.

1.2. Probleemstelling

De noodzaak tot aanpak van de droogteproblematiek leidt tot aanpassing van het beleid van de waterschappen in hun beheergebieden. Waterschap Aa en Maas zoekt nu nadrukkelijk naar een balans in het voorkomen en beperken van de effecten van droogte en die van wateroverlast.

In 2018 is circa 70% van de waterlopen in het beheergebied van Waterschap Aa en Maas drooggevallen (zie Figuur 1) (Kruit, 2020).

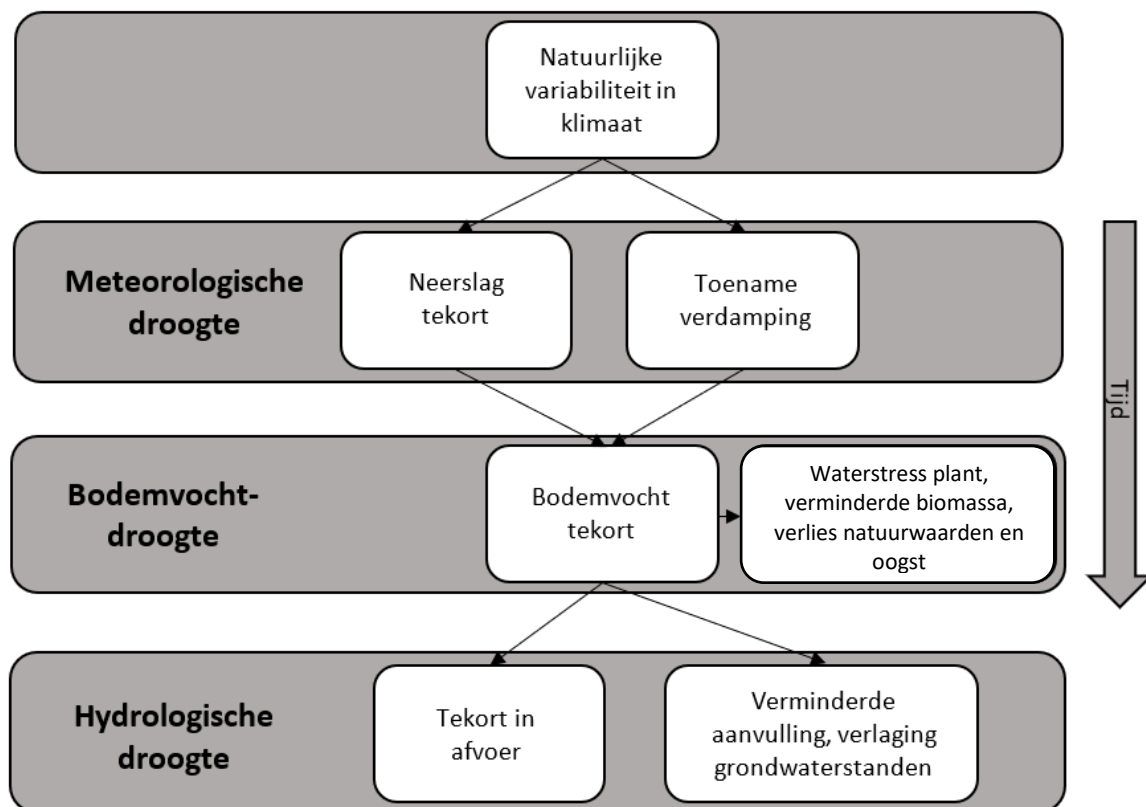
Kragten - dat kansen ziet om waterschappen op dit terrein te adviseren - heeft ervoor gekozen om onderzoek te doen naar een tweetal beeksystemen binnen het beheergebied van Waterschap Aa en Maas: de Snelle Loop en de Bakelse Aa. Beide Brabantse beken liggen op de hogere zandgronden en zijn drooggevallen tijdens de extreme droogte in 2018, zie Figuur 1. Deze beken stromen door zowel natuur- als landbouwgebieden, waar zich de effecten van die droogval hebben gemanifesteerd. Kragten heeft geconstateerd dat een kennisleemte bestaat binnen de aanpak van droogteproblematiek. Er is nog weinig bekend over de uitvoering van maatregelen en de effectiviteit daarvan. Daarom heeft Kragten een onderzoek geïnitieerd om binnen de stroomgebieden van deze beeksystemen uit te zoeken welke maatregelen kunnen worden toegepast om de effecten van droogte hier te kunnen mitigeren. Dit krijgt vorm binnen deze afstudeeropdracht.



Figuur 1: Droogval beheergebied Waterschap Aa en Maas (Kruit, 2020)

1.3. Definiëring droogte binnen dit onderzoek

Droogte wordt gedefinieerd als een uitzonderlijk droge periode waarin meer water verdampt dan dat er neerslag valt. Het vaststellen van een dergelijke droge periode gebeurt aan de hand van het uit balans raken van zowel het hydrologische als eco-systeem. (Waterschap Rijn en IJssel, 2015; Birger, 2020). Droogte leidt bijvoorbeeld tot het verlies van natuurwaarden en/of een mislukte of slechte oogst (van den Eertwegh et al., 2019). Het fenomeen droogte kan opgedeeld worden in drie fasen (Figuur 2): meteorologische droogte, bodemvochtdroogte en hydrologische droogte. Dit onderzoek focust op hydrologische en bodemvocht-droogte. Deze twee fasen zijn verder uitgewerkt in Bijlage 1.



Figuur 2: Schematisch overzicht droogte (van den Eertwegh et al., 2019)

1.4. Doelstelling en resultaat

Het doel van dit onderzoek is om binnen Kragten de expertise op het gebied van de droogte-aanpak te vergroten. Onderdeel hiervan is het opstellen van een maatregelenpakket om droogte- effecten in de beeksystemen van de Snelle Loop en Bakelse Aa te voorkomen en/of te mitigeren.

Het resultaat is een maatregelenpakket voor de twee beeksystemen welke als input kunnen dienen voor concrete herinrichtingsprojecten.

1.5. Onderzoeksvraag en deelvragen

1.5.1. Onderzoeksvraag

Welke maatregelen dragen bij aan het voorkomen en/of mitigeren van de effecten van droogte in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa?

1.5.2. Deelvragen

Om de bovenstaande onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden zijn de volgende vier deelvragen opgesteld:

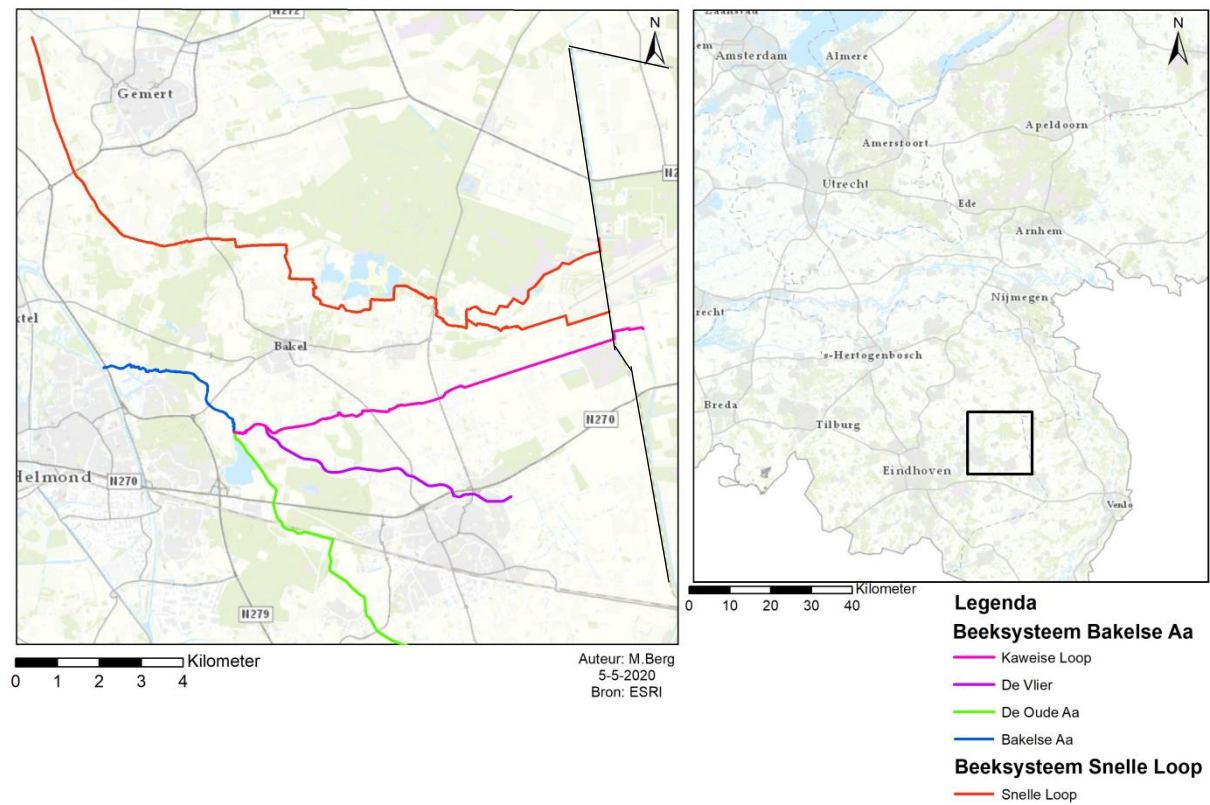
- 1) Wat zijn de (geo)hydrologische kenmerken in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa?
- 2) Wat zijn de algemene effecten van droogte op een beekstelsysteem?
- 3) Welke gebieden binnen de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa zijn kwetsbaar voor droogte?
- 4) Wat zijn de potentiële te nemen maatregelen in beeksystemen om de effecten van droogte te voorkomen en/of te mitigeren?
- 5) Wat is de effectiviteit van de, onder deelvraag 4, benoemde maatregelen?

1.6. Afbakening

De Snelle Loop en de Bakelse Aa liggen in de Provincie Noord-Brabant, tussen Gemert en Helmond (Figuur 3). De figuur visualiseert de fysieke grenzen van dit onderzoek, waarin de zwarte lijn de grens vormt tussen de Provincie Noord-Brabant en de Provincie Limburg. De Provincie Limburg wordt in dit onderzoek volledig buiten beschouwing gelaten. Zoals eerder aangegeven worden alleen de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa onderzocht. Deze twee beken zijn gekozen op aanbeveling van Waterschap Aa en Maas en vanwege de beschikbaarheid van data binnen het waterschap ten aanzien van deze twee beken.

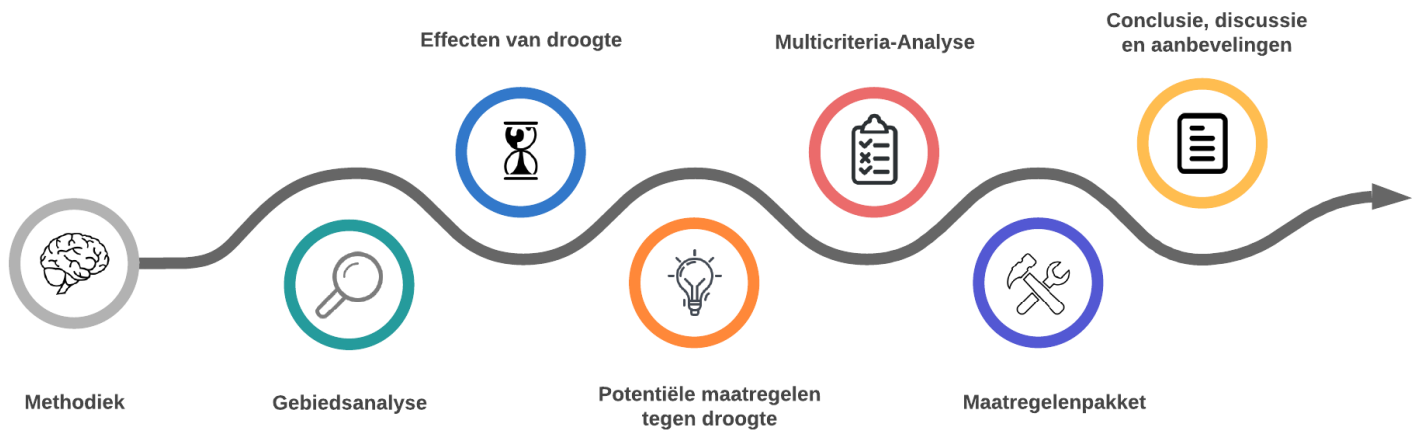
Het uitgangspunt van dit onderzoek is droogte in beeksystemen in 2018 waarin specifiek de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa binnen het beheergebied van Waterschap Aa en Maas zijn onderzocht.

Beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa



Figuur 3: Onderzoeksgebied

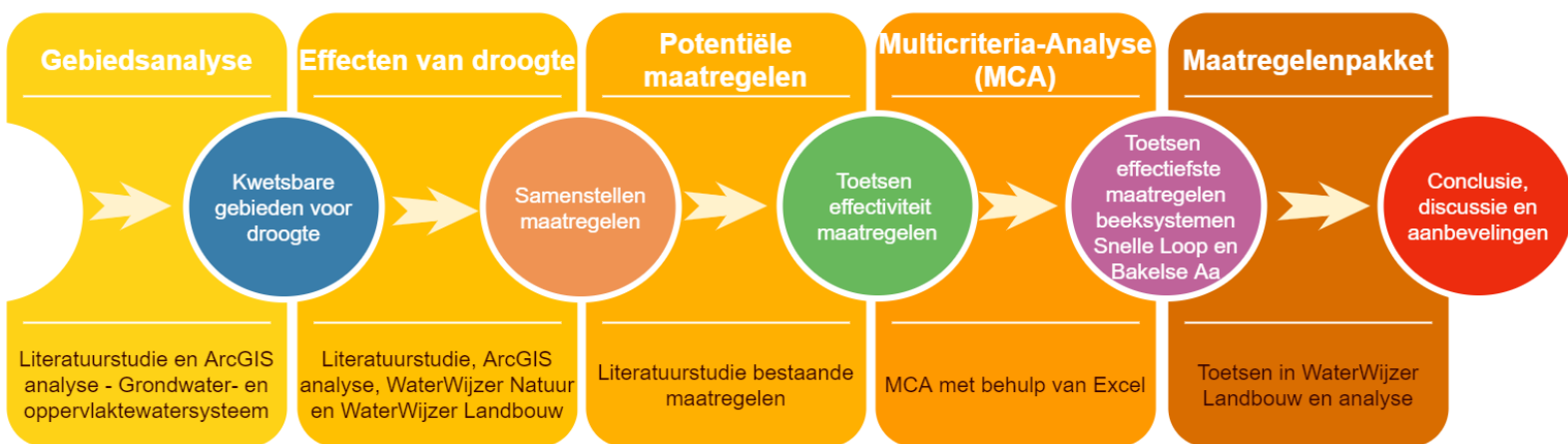
1.7. Leeswijzer



Dit onderzoek is opgedeeld in tien hoofdstukken, waarvan de inleiding hoofdstuk één is. In hoofdstuk twee is de gebruikte onderzoeksmethode beschreven. Vervolgens wordt in hoofdstuk drie het onderzoeksgebied aan de hand van een gebiedsanalyse omschreven. Hoofdstuk vier gaat in op de effecten van droogte in beeksystemen en op de kwetsbare gebieden binnen de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa. Aan de hand van de analyse uit hoofdstuk drie en vier, zijn maatregelen samengesteld in hoofdstuk vijf. Deze maatregelen zijn getoetst in een Multicriteria-Analyse (MCA) in hoofdstuk zes. Uit deze MCA zijn de vijf beste maatregelen getoetst voor de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa in hoofdstuk zeven. Tot slot volgt de conclusie in hoofdstuk acht gevolgd door een discussie in hoofdstuk negen, eindigend met aanbevelingen in hoofdstuk tien.

2. Methodiek

In dit hoofdstuk wordt per onderdeel de gebruikte methodiek beschreven. In Figuur 4 wordt door middel van een stroomschema de verschillende onderzoeksfases gevisualiseerd.



Figuur 4: Onderzoeksfasen

2.1. Gebiedsanalyse

Om een beeld te krijgen van de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa is een gebiedsanalyse als vooronderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek is uitgevoerd middels literatuurstudie en ArcGIS-analyse. Het grondwater- en oppervlaktewatersysteem, het landgebruik, bodemverdichting en buisdrainage is onderzocht. De data voor de literatuurstudie en de ArcGIS-analyse is voornamelijk verkregen van PDOK, Waterschap Aa en Maas en het Georegister van de Provincie Noord-Brabant. Deelvraag 1 is aan de hand van de gebiedsanalyse beantwoord.

Kwel en infiltratie

De kwel- en infiltratiegebieden zijn gevisualiseerd aan de hand van data van de Provincie Noord-Brabant (Provincie Noord-Brabant, 2005). De meest recente data van de aanwezige kwel en infiltratie is van 2005, hierbij is rekening gehouden met het feit dat de data niet geheel actueel is. De data geeft echter wel een indicatie waar de scheiding tussen kwel en infiltratie ongeveer ligt binnen de beeksystemen.

Grondwaterstanden

De geanalyseerde grondwaterstanden zijn afkomstig uit Grondwatertools. Grondwatertools is onderdeel van TNO (geologische dienst Nederland). Deze dienst analyseert grondwaterstandsmetingen. Deze analyse is gebruikt voor het onderzoeken van de gemiddeld hoogste en gemiddeld laagste grondwaterstanden (respectievelijk GHG en GLG). De verkregen data en trends in de metingen zijn beschreven. Hierbij is specifiek gekeken naar de invloeden van de zomer van 2018 op de grondwaterstand.

Oppervlaktewatersysteem

Het oppervlakte watersysteem van de Snelle Loop en de Bakelse Aa is in kaart gebracht aan de hand van literatuurstudie en ArcGIS-analyse. Met behulp van ArcGIS is de ligging van de beken en zijn de locaties van de stuwen (verkregen uit de legger van Waterschap Aa en Maas (Waterschap Aa en Maas, sd)) gevisualiseerd. Tevens is gebruik gemaakt van rapporten over de Snelle Loop en de Bakelse Aa, voor de beschrijving van het systeem. Een voorbeeld hiervan is het rapport Beekontwikkeling/evz Snelle Loop, benedenloop (Cluitmans, 2019).

Landgebruik

Met behulp van de LGN7-kaart (Landelijkgrondgebruik Nederland) van Alterra (Hazeu et al., 2014) is het landgebruik geanalyseerd. ArcGIS en Microsoft Excel zijn gebruikt om het landgebruik in de twee beeksystemen te visualiseren en te analyseren.

Bodemverdichting

Om een beeld te krijgen welke delen rond de beeksystemen risico hebben op een verdichte ondergrond is gebruik gemaakt van literatuurstudie en ArcGIS-analyse. Aan de hand van een kaart van de Wageningen Universiteit (van den Akker et al., 2013), is het risico op ondergrondverdichting in kaart gebracht en geanalyseerd.

Buisdrainage

Literatuurstudie en ArcGIS-analyse zijn gebruikt om de locatie en effecten van buisdrainage te analyseren. Voor deze analyse is gewerkt met een buisdrainage kaart van Waterschap Aa en Maas (Waterschap Aa en Maas, 2019). Deze kaart weergeeft welke percelen buisdrainage hebben. De effecten van drainage zijn omschreven aan de hand van literatuuronderzoek.

2.2. Effecten van droogte

De effecten van droogte op beeksystemen zijn onderzocht middels literatuurstudie. Om een beeld te krijgen welke effecten zich voordoen tijdens een droogte zijn verschillende rapporten geraadpleegd. Deze rapporten zijn grotendeels verkregen door gebruik te maken van Google Scholar, Wiley Online Library, Researchgate en Greeni. De informatie is vervolgens geanalyseerd en geclassificeerd onder primaire of secundaire effecten. Met deze studie wordt deelvraag twee beantwoord.

Waterwijzer Natuur

Voor het herkennen van kwetsbare natuurgebieden is gebruik gemaakt van de Waterwijzer Natuur (KWR Water Research Institute, 2020). Hiervoor zijn met behulp van ArcGIS kaarten gemaakt van GXG¹ data (STOWA, 2010), de Gemiddelde Grondwaterstand (GG) en aanwezige natuuroeltype per natuurgebied (Provincie Noord-Brabant, 2020).

Binnen dit programma is gerekend met de toets-functie en het huidige klimaat. Een uitgebreidere methodiek is terug te vinden in Bijlage 5.

Waterwijzer Landbouw

Kwetsbare landbouwgebieden zijn bepaald aan de hand van de Waterwijzer Landbouw (Wageningen Environmental Research, 2020). Ook voor deze Waterwijzer is eerst gebruik gemaakt van ArcGIS. In ArcGIS is gebruik gemaakt van data ten behoeve van GHG, GLG, bodemfysische eenhedenkaart (Wageningen Environmental Research, 2016) en basisregistratiegewaspercelen (PDOK, sd). Vervolgens is de Waterwijzer Landbouw met deze data doorgerekend voor drie verschillende scenario's: een gemiddeld jaar, een nat jaar (1998) en een droog jaar (2003). In Bijlage 8 is een uitgebreidere methodiek van de Waterwijzer Landbouw beschreven. De analyse met de WaterWijzer Natuur en de WaterWijzer Landbouw beantwoordt deelvraag drie.

¹ GXG is een afkorting voor Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG), Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) en Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG).

2.3. Potentiële maatregelen

Middels literatuurstudie zijn verschillende potentiële maatregelen naar voren gekomen. Uit verschillende rapporten zijn maatregelen of delen van maatregelen gehaald. Een van de gebruikte rapporten is Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland (van den Eertwegh et al., 2019). Met deze analyse is deelvraag vier beantwoord.

2.4. Multicriteria-analyse (MCA)

Aan de hand van de potentiële maatregelen is een Multicriteria-Analyse (MCA) opgezet. Deze analyse is uitgevoerd aan de hand van beoordelvragen en parameters. Een voorbeeld van een parameter is tijd. Hier aan gekoppeld is een beoordelvraag. Per parameter en beoordelvraag zijn drie categorieën gehangen, waarbij 1 het minst effectief is en 3 het effectiefst. Tevens heeft elke parameter een weging gekregen. Hoe zwaarder de weging hoe belangrijker de parameter. Uit de analyse naar droogte en droogte-effecten is opgemaakt welke parameters het zwaarst wegen. Vervolgens is de beoordeling van de maatregel per parameter vermenigvuldigd met de weging in Microsoft Excel. Hieruit is een totaalcijfer uitgekomen, welke de effectiviteit van een maatregel binnen een beekstelsysteem reflecteert. In Bijlage 10 is een uitgebreidere onderbouwing van de beoordeling van de MCA beschreven. Aan de hand van deze Multicriteria-Analyse is deelvraag vijf beantwoord.

2.5. Maatregelenpakket

Om een beeld te krijgen van de mogelijk toe te passen maatregelen in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa is een maatregelenpakket samengesteld. Dit maatregelenpakket is samengesteld door de vijf effectiefste maatregelen uit de MCA te toetsen in deze beeksystemen. De toetsing van de maatregel wordt theoretisch onderbouwd door aannames en een koppeling tussen de landschapskarakteristieken en de kwetsbare gebieden in beide beeksystemen. Daarnaast worden enkele maatregelen verder onderbouwd door een berekening met de WaterWijzer Landbouw. Twee van de vijf maatregelen zijn getest met behulp van de WaterWijzer Landbouw; de maatregelen aanpassen van landgebruikstypen en het verwijderen van buisdrainage. Om de effecten te toetsen in de WaterWijzer Landbouw is het landgebruik in percelen aangepast of is de grondwaterstand verhoogd. Aan de hand van de toetsing is bepaald welke maatregelen op welke locaties in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa het effectiefst zijn. De onderzoeksvraag is aan de hand van deze analyse beantwoord.

3. Gebiedsanalyse

In dit hoofdstuk worden de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa beschreven. De beschrijving gaat in op het grond- en het oppervlaktewatersysteem. Tevens worden de twee beeksystemen met elkaar vergeleken. Hierbij wordt niet ingegaan op effecten van droogte, deze worden geanalyseerd in hoofdstuk 4. De geologische- en bodemopbouw is uitgewerkt in bijlage 2 paragraaf 2.1 en 2.2.

3.1. Grondwatersysteem

In deze paragraaf wordt ingegaan op de kwel- en infiltratielocaties en de grondwaterstanden rondom de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa.

3.1.1. Kwel en infiltratie

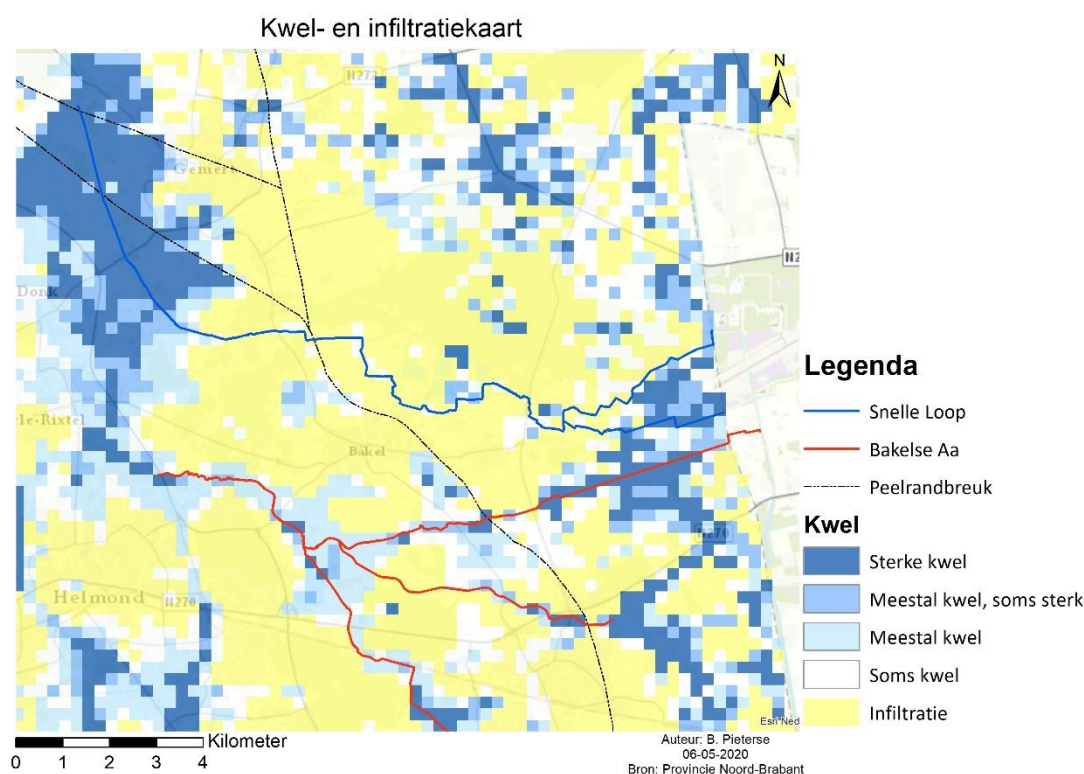
In het beekstelsel van de Snelle Loop komt zowel infiltratie als kwel voor. Rond de boven- en middenloop vindt voornamelijk wegzijging plaats, in de benedenloop (ter hoogte van Gemert komt kwel voor (Figuur 5) (De ligging van de boven-, midden- en benedenloop van de beeksystemen is weergegeven in Bijlage 2 paragraaf 2.3). De beekdalen van het beekstelsel van de Bakelse Aa wordt volledig gevoed door kwel, variërend in sterkte (Figuur 5). Buiten de beekdalen vindt voornamelijk infiltratie plaats.

De hoeveelheid kwel of infiltratie in het gebied is onbekend, wel is de intensiteit geclassificeerd. Aan de hand van gebruikte classificatie van de Provincie Friesland (Provincie Friesland, 2010) is de onderstaande classificatie opgesteld in Tabel 1.

Tabel 1: Intensiteit classificatie kwel en infiltratie (Provincie Friesland, 2010)

Classificatie	Intensiteit (mm/d)
Sterke kwel	> 1
Meestal kwel, soms sterk	0,5– 1
Meestal kwel	0,2 – 0,5
Soms kwel	0,2 kwel – 0,2 infiltratie
Infiltratie	> 0,2

De bovenste twee classificaties zorgen waarschijnlijk voor een jaarronde voeding van kwel. Dit betekent dat grote delen van het beekstelsel van de Bakelse Aa jaarrond gevoed worden. De Snelle Loop wordt alleen in de benedenloop en een klein gedeelte van de bovenloop jaarrond gevoed met kwel.



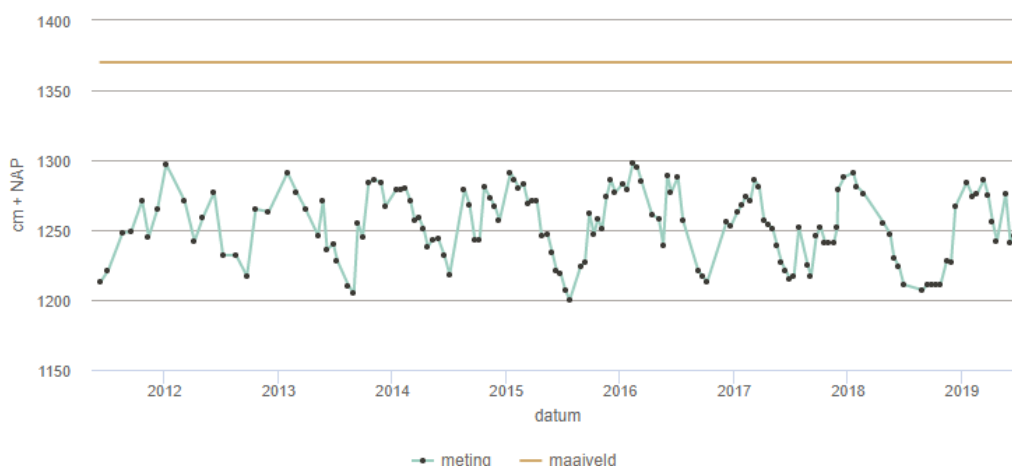
Figuur 5: Kwel en infiltratie (Provincie Noord-Brabant, 2005)

3.1.2. Grondwaterstanden

In deze paragraaf worden de grondwaterstanden van beide beeksystemen beschreven. Onderstaand is een van de geanalyseerde grondwaterstanden langs de beeksystemen. In Bijlage 3 is een korte beschrijving van de andere geanalyseerde grondwaterstanden de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa te vinden.

Snelle Loop

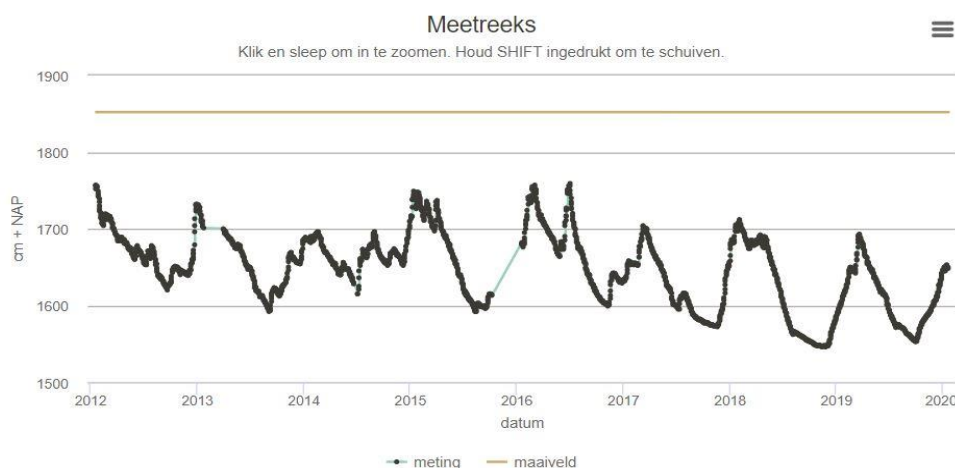
In Figuur 6 is een representatieve grondwaterstandsmeting van de Snelle Loop weergegeven. Deze figuur laat zien dat de extreme zomer van 2018 niet heeft gezorgd voor een extreem lage grondwaterstand op de benedenstroomse locatie. In 2015 is een lagere grondwaterstand gemeten in de zomer dan in 2018. De zomer van 2018 heeft geen grotere impact gehad op de grondwaterstand dan een gemiddelde zomer. Wat belangrijk is om op te merken is dat het langer duurt voordat de grondwaterstand weer terug op niveau is. Hoewel de droogte niet per se impact heeft gehad op daling van de grondwaterstand, heeft het wel impact gehad op het aanvullen van grondwater en dus de grondwaterstand. Uit Tabel 16 uit Bijlage 3 kan worden opgemaakt dat de grondwaterstand rondom de Snelle Loop gemiddeld 1,30 meter onder maaiveld ligt.



Figuur 6: Grondwaterstandmeting locatie 1 benedenstrooms (B51F1858) (Grondwatertools, 2019)

Bakelse Aa

In Figuur 7 is zichtbaar dat de extreme zomer in 2018 ervoor heeft gezorgd dat de grondwaterstand ten opzichte van 2017 rond eind augustus daalde tot 15,61 meter boven NAP rondom de middenloop van de Bakelse Aa. In 2017 was de grondwaterstand rond eind augustus 15,96 meter boven NAP. Dit is een daling van 35 centimeter en kan voor problemen zorgen in verschillende sectoren rondom de beek. In vergelijking met andere jaren, duurt het in 2018 langer voordat de grondwaterstand weer op oorspronkelijk niveau is. Hierop volgend is zichtbaar dat in 2019 de grondwaterstand bijna net zo diep zakt. Door de recente data is het niet duidelijk of na 2019 de grondwaterstand weer op oorspronkelijk niveau is gekomen. Uit Tabel 17 uit Bijlage 3 blijkt dat rondom het beekstelsysteem van de Bakelse Aa, de grondwaterstand gemiddeld 1,18 meter onder maaiveld ligt.

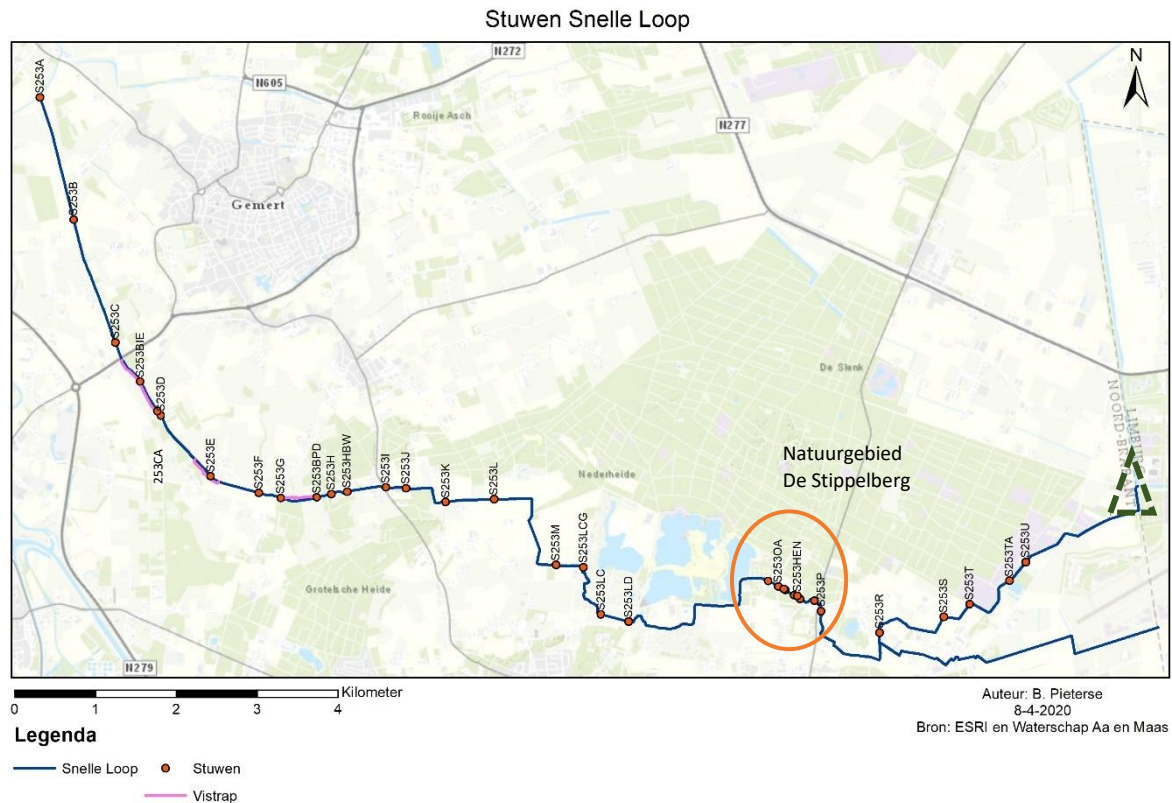


Figuur 7: Grondwaterstandsmetingen locatie 3 benedenstrooms (B51F0247) (Grondwatertools, 2020)

3.2. Oppervlaktewatersysteem

Stuwen

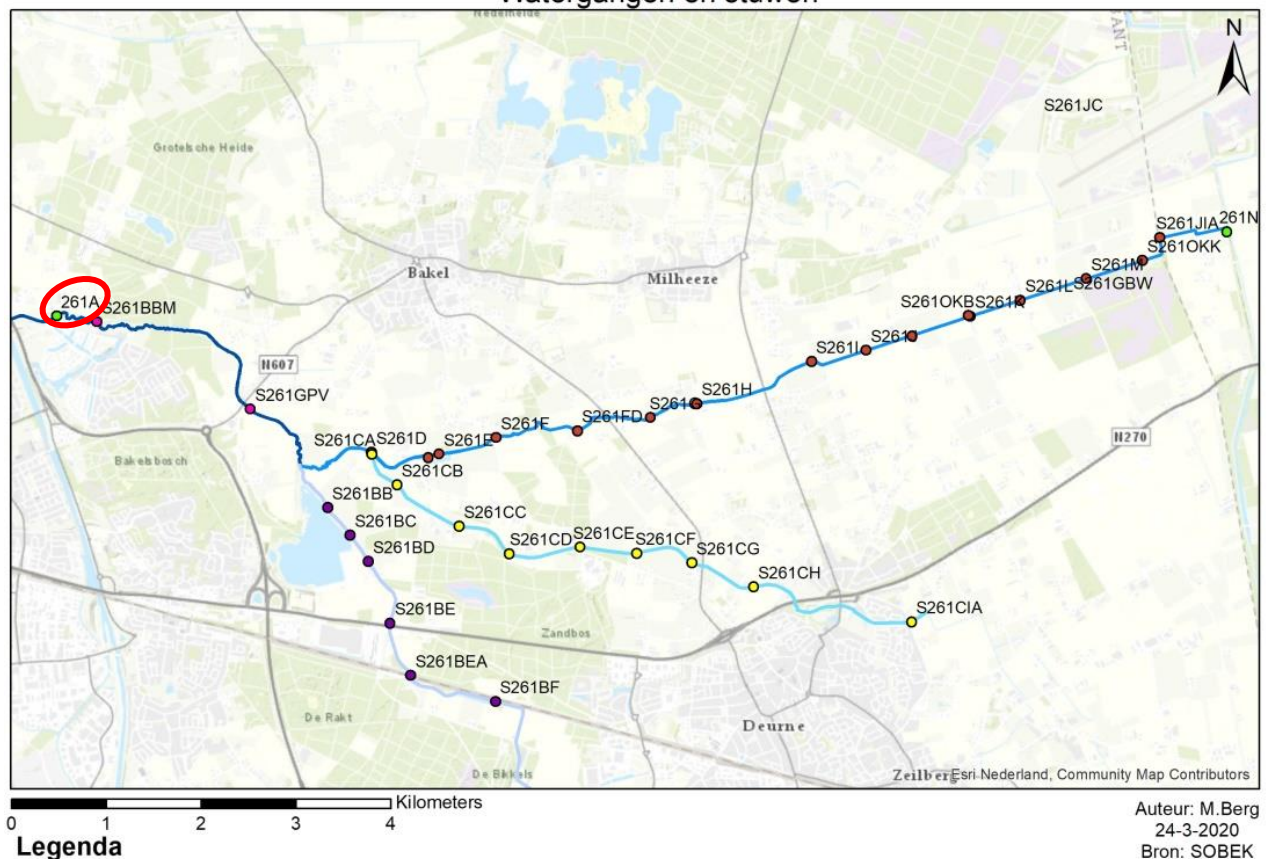
De Snelle Loop wordt gevoed door het Peelkanaal, dat langs de grens tussen de Provincie Noord-Brabant en Provincie Limburg stroomt. In de Snelle Loop staan 34 stuwen om het peil in de beek te reguleren (Figuur 8). In de beek liggen drie vistrappen om de migratie van vissen in stand te kunnen houden (zie Bijlage 4). De bovenstroomse stuwen, welke dicht op elkaar liggen (zie oranje cirkel), zijn cascades, om zowel de beek te kunnen stuwen en vissen te laten migreren.



Figuur 8: Stuwen Snelle Loop (Waterschap Aa en Maas, sd)

Het stroomgebied van de Bakelse Aa bestaat uit vier beken: de Kawaise Loop, de Vlier, de Oude Aa en de Bakelse Aa. Deze beken behoren tot het beekstelsel van de Bakelse Aa. De afwatering van het beekstelsel verloopt via de Zuid-Willemsvaart. Het beekstelsel is een gestuurd systeem bestaande uit 32 stuwen (Figuur 9). Deze stuwen hebben een peil regulerende werking. In de Kawaise Loop liggen vier vistrappen om de migratie van vissen in stand te kunnen houden (zie Bijlage 4).

Watergangen en stuwen

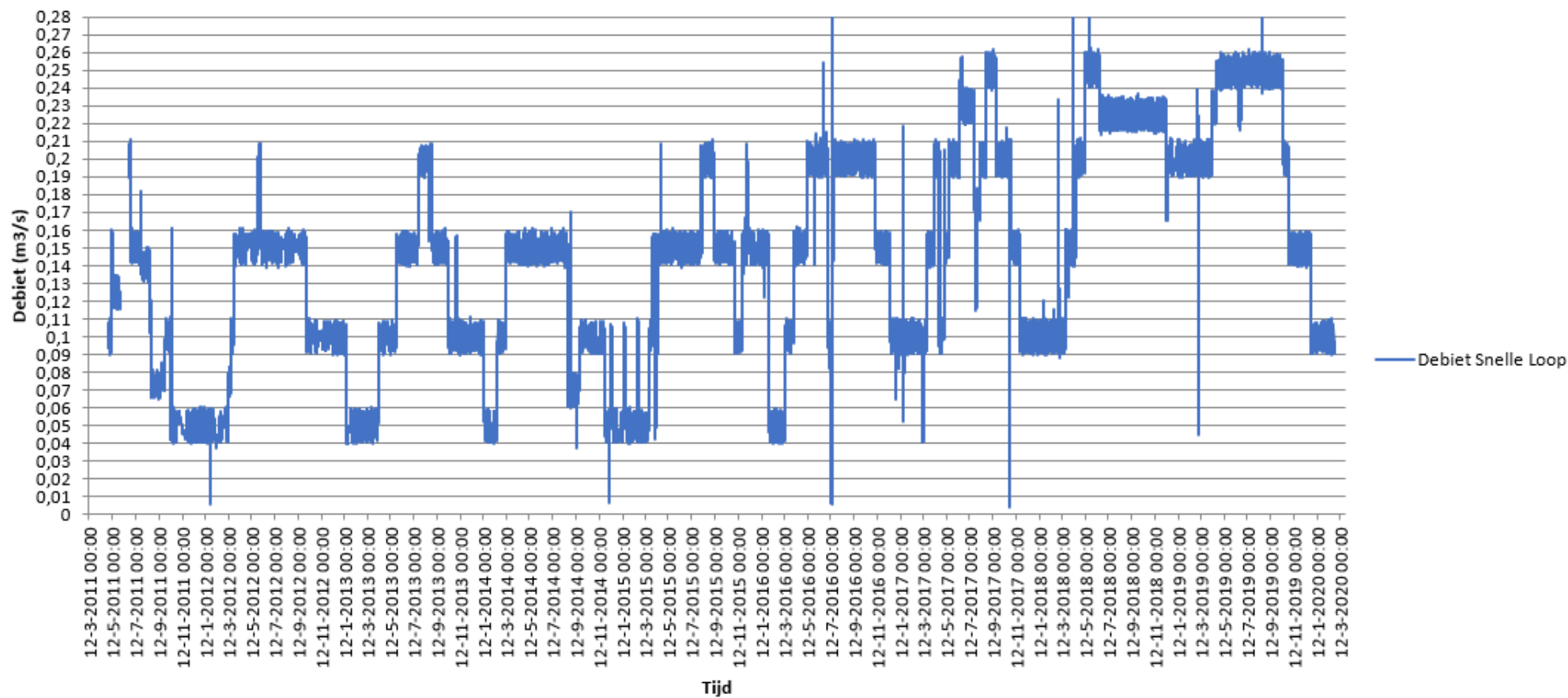


Figuur 9: Stuwen Bakelse Aa (Waterschap Aa en Maas, sd)

Debiet Snelle Loop

Waterschap Aa en Maas heeft geen tot weinig debietmetingen van de beek de Snelle Loop. Het waterschap is pas in 2019 begonnen met het consistent meten van de waterstanden in de beek. Daarom wordt voor deze analyse gebruik gemaakt van de debietdata van de inlaat van de Snelle Loop. De inlaat ligt bovenstrooms waar de Snelle Loop uit het Peelkanaal stroomt (zie groene driehoek in Figuur 8). Deze inlaat is een gereguleerde stuw, dit is duidelijk terug te zien in de debietmetingen in Figuur 10 (zie volgende pagina). Uit deze metingen wordt duidelijk dat tijdens de zomermaanden meer water in de Snelle Loop wordt gelaten. Hiermee wil het waterschap zorgen dat het waterniveau van de Snelle Loop tijdens de zomermaanden zoveel mogelijk op het zomerpeil blijft. Tevens laat Figuur 10 zien dat in de zomer van 2018 de stuw langer heeft open gestaan om zo meer water in de Snelle Loop te laten en zo de droogval van de Snelle Loop zo veel mogelijk tegen te gaan.

Debiet inlaat Snelle Loop



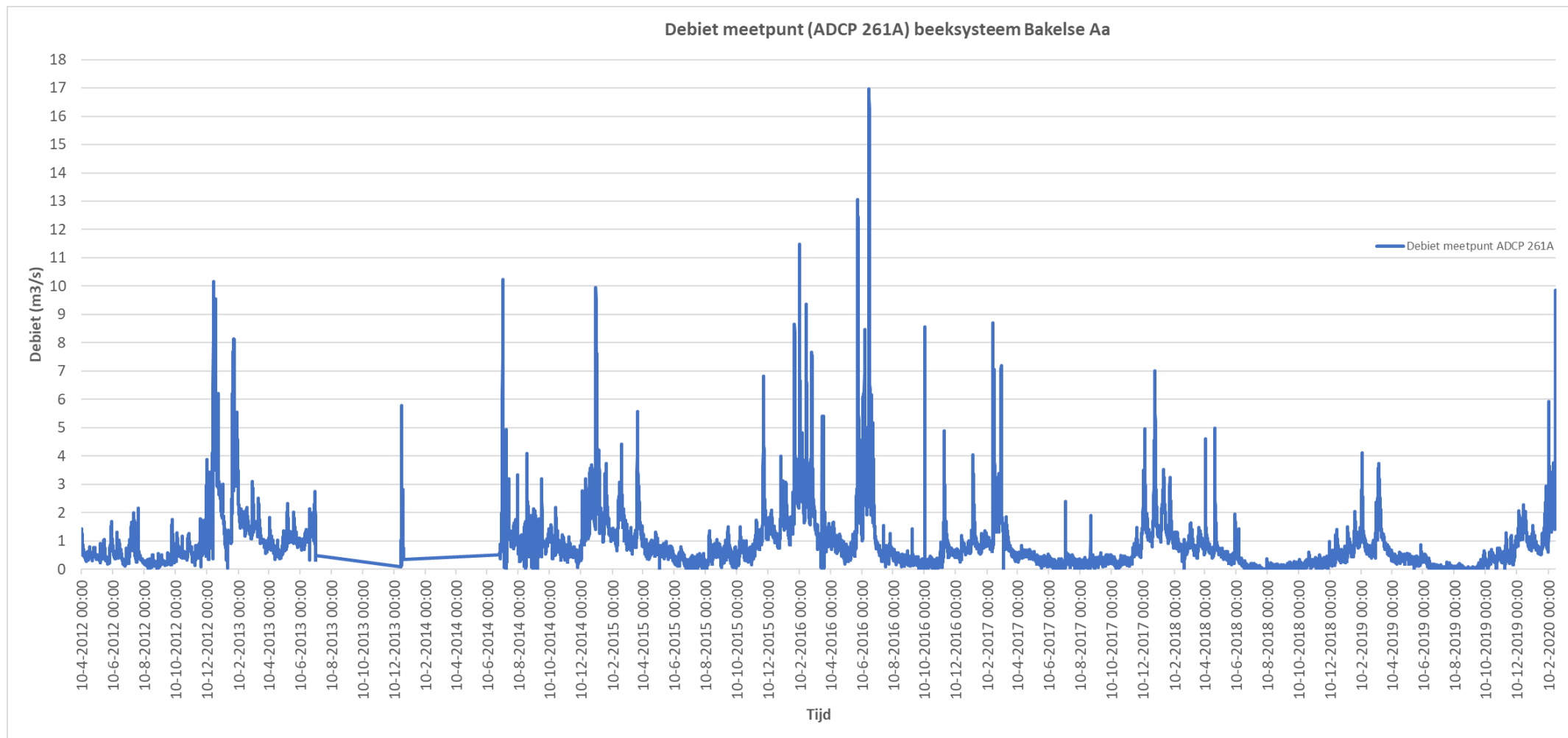
Figuur 10: Debiet inlaat Snelle Loop

Debiet Bakelse Aa

In Figuur 11 wordt het debiet bij meetpunt ADCP² 261A, gelegen in de benedenloop van de Bakelse Aa (zie rode cirkel Figuur 9), weergegeven. In de onderstaand figuur is een nat (2016) en een droog jaar (2018) weergegeven. Waterschap Aa en Maas heeft geen tot weinig debietmetingen van het gemiddelde jaar 2013 van de Bakelse Aa. De ADCP-261A-meting is in deze periode verkeerd ingesteld geweest, waardoor onbetrouwbare negatieve data is gemeten. Daarom wordt voor deze analyse de jaren 2016 en 2018 onderzocht.

In de zomermaanden van 2016 in een korte tijd veel neerslag gevallen, zichtbaar aan de hoge pieken in de debietmetingen. In de zomermaanden van 2018 is weinig tot geen neerslag gevallen, dit heeft gezorgd voor een laag debiet waardoor de beek last had van de effecten van droogte. Dit is duidelijk zichtbaar aan de het ontbreken van een debiet in de Bakelse Aa over een lange tijdsperiode. Dit duidt op het droogvallen van delen van de beek.

² ADCP = Accoustic Doppler Current Profiler. Dit kan gebruikt worden om stromingspatronen te analyseren.



Figuur 11: Debiet meetpunt (ADCP 261A) in beekstelsysteem van de Bakelse Aa

3.2.1. Landgebruik

Snelle Loop

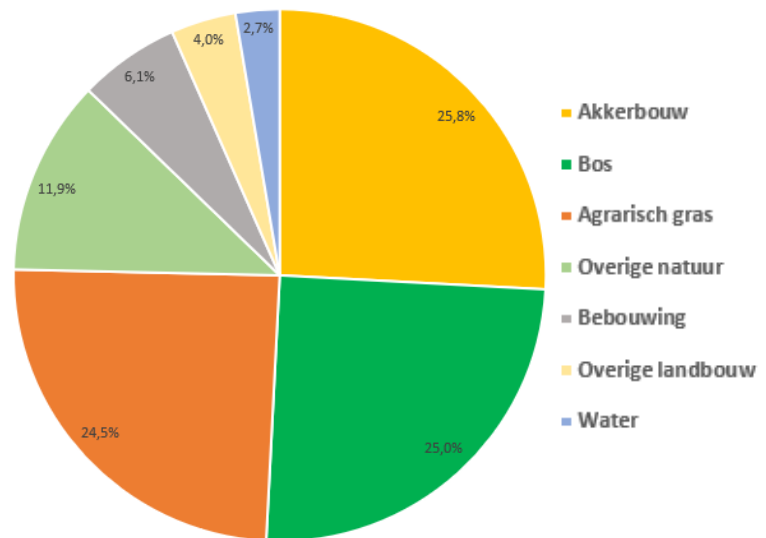
De Snelle loop is een zijtak van het Peelkanaal en stroomt vanuit het kanaal langs het natuurgebied de Stippelberg. Vervolgens stroomt de beek door landbouw- en natuurgebied om uit te stromen in de Aa. De bovenloop van de Snelle Loop wordt gekarakteriseerd door naald- en loofbos evenals maïs (zie Figuur 12 en Figuur 13).

Percelen langs de midden- en benedenloop van de Snelle Loop worden voornamelijk gebruikt voor agrarisch gras en het verbouwen van maïs.

In het hele beekstelsel van de Snelle Loop wordt meer dan de helft van de bodem gebruikt voor landbouw. De aanwezigheid van veel landbouw betekent dat in het groeiseizoen beregend wordt.

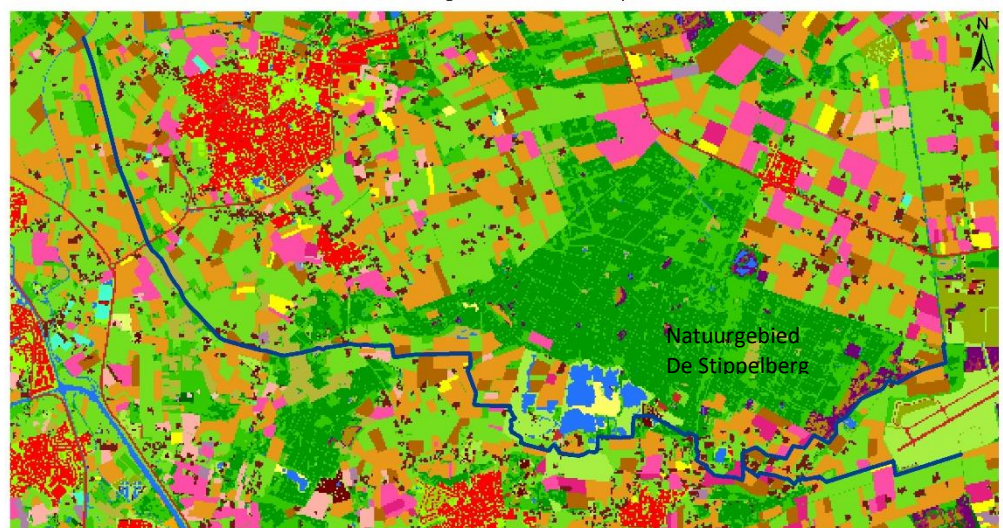
Door de droogte van de zomer van 2018 was een onttrekkingsverbod ingesteld voor het beregenen van agrarisch gras met grondwater (Waterschap Aa en Maas, 2020).

Landgebruik Snelle Loop



Figuur 12: Percentage landgebruik Snelle Loop (Hazeu et al., 2014)

Landgebruik Snelle Loop



0 1 2 3 4 Kilometer

Auteur: B. Pieterse
07-05-2020
Bron: LGN7

Legenda

— Snelle Loop

Landgebruik

1 - agrarisch gras

2 - maïs

3 - aardappelen

4 - bieten

5 - granen

6 - overige gewassen

8 - glastuinbouw

9 - boomgaarden

10 - bloembollen

11 - loofbos

12 - naaldbos

16 - zoet water

18 - bebouwing in primair bebouwd gebied

19 - bebouwing in secundair bebouwd gebied

20 - bos in primair bebouwd gebied

22 - bos in secundair bebouwd gebied

23 - gras in primair bebouwd gebied

24 - kale grond in bebouwd gebied

25 - hoofdwegen en spoorwegen

26 - bebouwing in het buitengebied

28 - gras in secundair bebouwd gebied

35 - open stuifzand en/ of rivierzand

36 - heide

37 - matig vergraste heide

38 - sterk vergraste heide

41 - overige moerasvegetatie

42 - rietvegetatie

43 - bos in moerasgebied

45 - natuurgraslanden

61 - boomkwekerijen

62 - fruitkwekerijen

Figuur 13: Landgebruikskarta Snelle Loop (Hazeu et al., 2014)

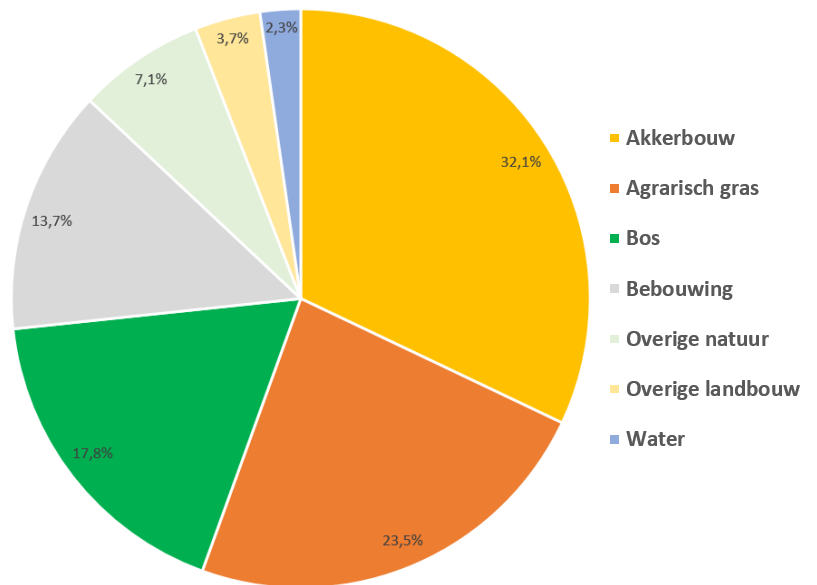
Bakelse Aa

De Bakelse Aa wordt gevoed door de Kaweise Loop, de Vlier en de Oude Aa. De Kaweise Loop stroomt langs een klein deel van Natura2000 gebied Deurnsche Peel en Mariapeel. Heide, loof- en naaldbos komen voor in dit gebied.

Tussen de Kaweise Loop en de Vlier komt voornamelijk maïs voor. De Oude Aa stroomt vanuit Deurne tussen twee natuurgebieden door met de aanwezigheid van loof- en naaldbossen. De Bakelse Aa stroomt door maïs percelen afgewisseld met agrarisch gras en naaldbos (zie Figuur 14 en Figuur 15).

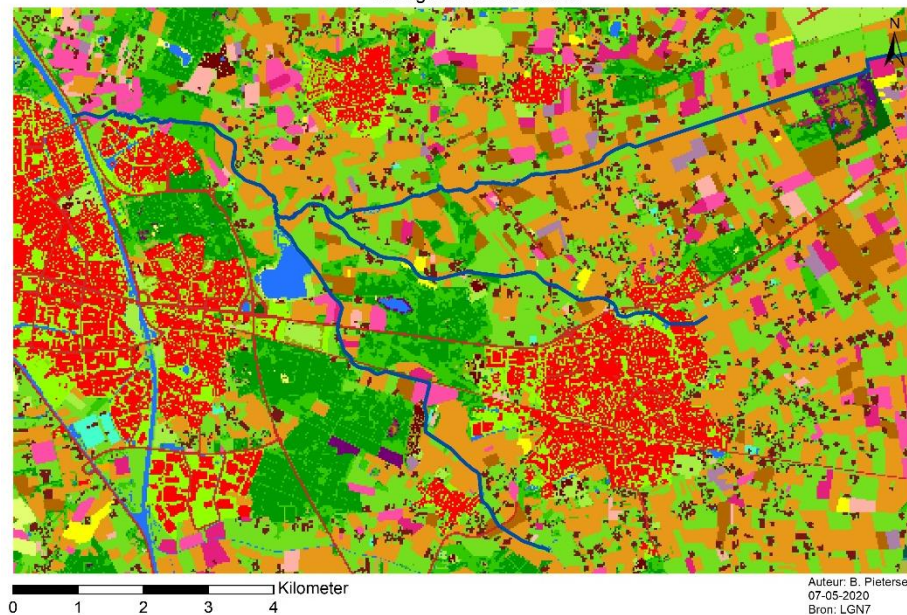
Langs het beekstelsysteem worden maïs en agrarisch gras het meest verbouwd. Ongeveer zestig procent van het landgebruik wordt gebruikt voor agrarisch grondgebruik in dit beekstelsysteem. Meer landbouw betekent dat meer beregend zal worden dan wanneer het landgebruik merendeels uit natuur bestaat. Wanneer een neerslagtekort zich voordoet, wordt berekend met grondwater om een bodemvochttekort tegen te gaan. Ook voor het beekstelsysteem van de Bakelse Aa is voor de zomer van 2018 een onttrekkingsverbod voor het beregenen van agrarisch gras ingesteld (Waterschap Aa en Maas, 2020).

Landgebruik Bakelse Aa



Figuur 14: Percentage landgebruik Bakelse Aa (Hazeu et al., 2014)

Landgebruik Bakelse Aa



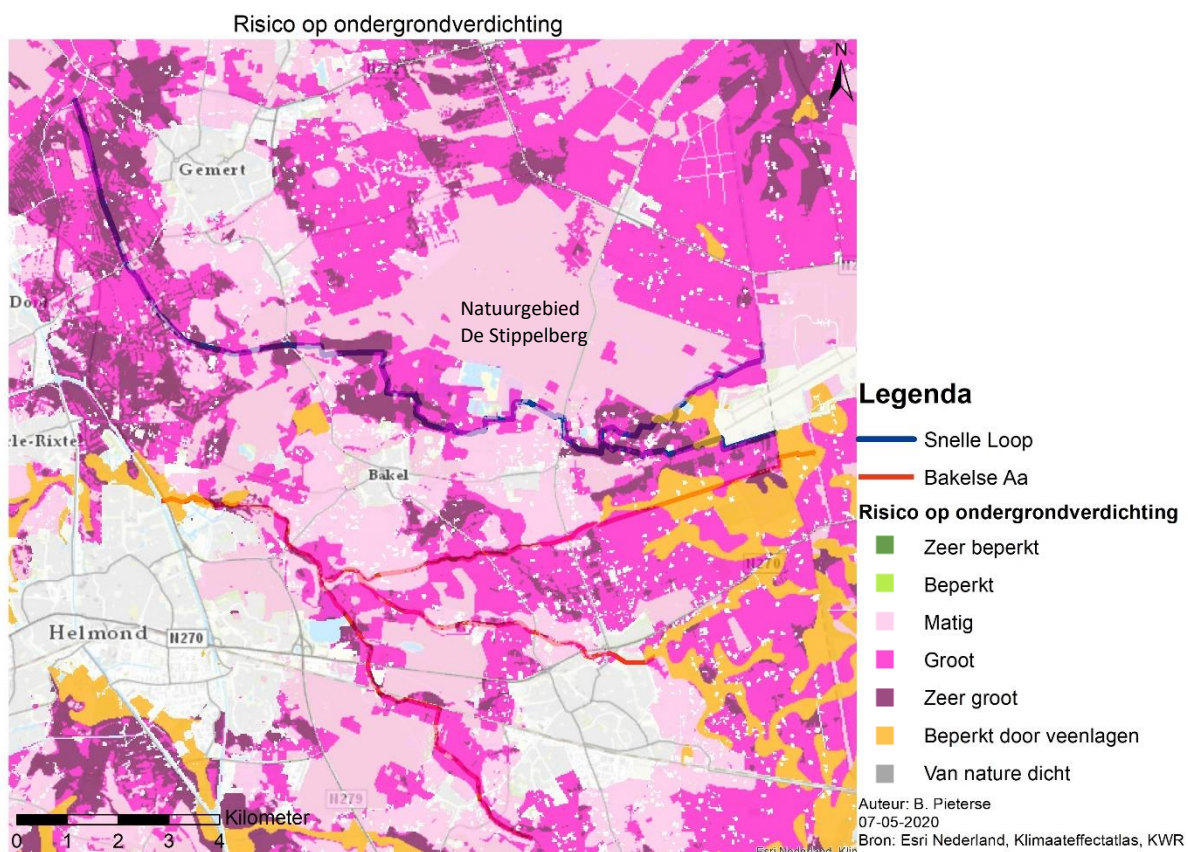
Legenda

Bakelse Aa	12 - naaldbos	36 - heide
Landgebruik	16 - zoet water	37 - matig vergraste heide
1 - agrarisch gras	18 - bebouwing in primair bebouwd gebied	38 - sterk vergraste heide
2 - maïs	19 - bebouwing in secundair bebouwd gebied	39 - hoogveen
3 - aardappelen	20 - bos in primair bebouwd gebied	40 - bos in hoogveengebied
4 - bieten	22 - bos in secundair bebouwd gebied	41 - overige moerasvegetatie
5 - granen	23 - gras in primair bebouwd gebied	42 - rietvegetatie
6 - overige gewassen	24 - kale grond in bebouwd gebied	43 - bos in moerasgebied
8 - glastuinbouw	25 - hoofdwegen en spoorwegen	45 - natuurgraslanden
9 - boomgaarden	26 - bebouwing in het buitengebied	61 - boomkwekerijen
10 - bloembollen	28 - gras in secundair bebouwd gebied	62 - fruitkwekerijen
11 - loofbos	35 - open stuifzand en/ of rivierzand	

Figuur 15: Landgebruikskarta Bakelse Aa (Hazeu et al., 2014)

3.2.2. Risico op bodemverdichting

Bodemverdichting leidt tot maaiveldafvoer van percelen richting beken en sloten (Verloop, 2019). Door bodemverdichting neemt namelijk het infiltratievermogen, de doorlatendheid en het vochtbergend vermogen van de bodem af (van den Akker, de Vries, Vermeulen, Hack-ten Broeke, & Schouten, 2013). Door deze afname ontstaat plaspvorming en dit kan op zijn beurt weer leiden tot oppervlakkige afstroming. Door belasting van landbouwmachines is de bodem rondom de beek, waar het risico op verdichting hoog is, verdicht. Tijdens een piekbui zorgen deze percelen voor extra water in de beken wat niet in de bodem kan infiltreren. Door de goede infiltratiecapaciteit van de zandbodems komt weinig maaiveldafvoer voor in de beeksystemen. Figuur 16 weergeeft het risico op bodemverdichting. De percelen langs de beken hebben een groot risico op bodemverdichting. Het risico op bodemverdichting is bepaald aan de hand van bodemeigenschappen en landgebruik. Met name percelen langs de Snelle Loop hebben een zeer groot risico op verdichting van de bodem. Als gekeken wordt naar de landgebruikkaart van de Snelle Loop is zichtbaar dat deze gebieden voornamelijk landbouwgebieden betreffen. De Bakelse Aa heeft langs de beek een groot risico op bodemverdichting op de bovenloop van de Kaweise Loop en de benedenloop van de Bakelse Aa na. Deze delen van het beekstelsel hebben veenlagen, waardoor het risico beperkt wordt. De percelen waar landbouw op wordt bedreven hebben een groter risico op bodemverdichting dan de natuurgebieden (zoals de Stippelberg).



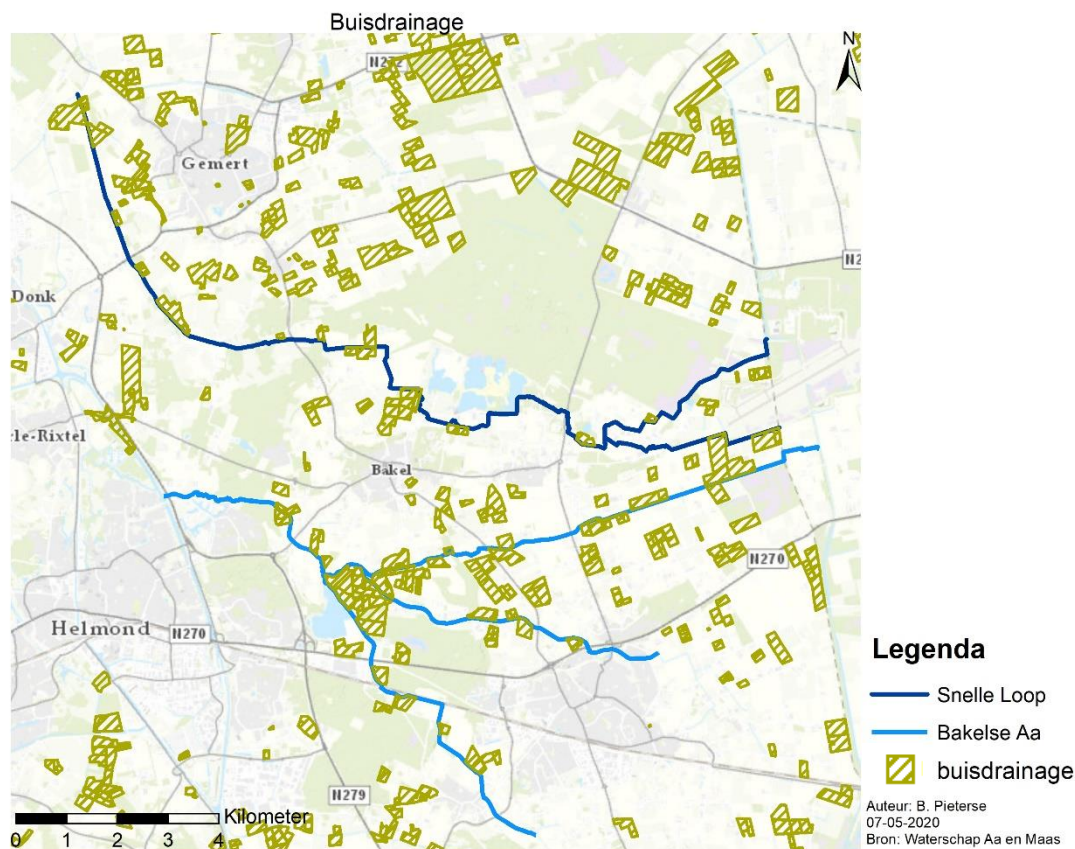
Figuur 16: Risico op ondergrondverdichting (van den Akker et al., 2013)

3.2.3. Buisdrainage

Drainage wordt gebruikt om grondwater af te voeren via buizen, sloten en of greppels om een overmaat aan water af te voeren om zo de grondwaterstand zodanig te houden dat percelen ten alle tijden begaan- en bewerkbaar blijven. Buisdrainage zorgt ervoor dat water versneld wordt afgevoerd en dat het grondwater tot een bepaald niveau niet wordt aangevuld. Deze versnelde afvoer zorgt voor piekafvoeren in beken tijdens een piekbui. Tevens zorgt het voor een verlaging van de grondwaterstand en berging van water in de buizen van de drainage (Bos, 2019; Oosterbaan, sd; Nijland, Croon, & Ritzema, 2005; STOWA, 2018). Wanneer buisdrainage niet in de bodem aanwezig is, raakt de bodem eerder verzadigd waardoor meer water over het maaiveld wordt afgevoerd. Doordat buisdrainage de grondwaterstand verlaagt, treedt verdroging van de bodem sneller op.

Bij de Snelle Loop is voornamelijk rond de midden- en benedenloop buisdrainage aanwezig (Figuur 17). Rond dit gedeelte van de Snelle Loop komt meer landbouw voor en daardoor meer buisdrainage. De bovenloop van de Snelle Loop stroomt langs natuurgebied de Stippelberg, hier is geen tot nauwelijks buisdrainage aanwezig.

In het beekstelsel van de Bakelse Aa is voornamelijk langs de Kawaise Loop en de Vlier buisdrainage aanwezig. Rondom de Oude Aa en Bakelse Aa hebben een aantal percelen wel beschikken over buisdrainage. Figuur 17 laat zien dat langs het 'aanknopingspunt', waar de zijbeken van de Bakelse Aa samen komen in de Bakelse Aa, veel buisdrainage aanwezig is. Op dit punt komt water van drie beken bij elkaar, dit kan sneller zorgen voor inundatie tijdens hevige neerslag.



Figuur 17: Aanwezigheid buisdrainage (Waterschap Aa en Maas, 2019)

3.3. Vergelijking

Het gehele beekstelsysteem van de Bakelse Aa wordt gevoed door kwelwater terwijl het beekstelsysteem van de Snelle Loop alleen gevoed wordt met kwelwater in de benedenloop en inlaatwater in de bovenloop. Hier zit tevens nog een verschil in de hoeveelheid kwel, dichtbij de middenloop is de hoeveelheid kwelaanvoer lager (Tabel 2). In het beekstelsysteem van de Snelle Loop is minder landbouw en meer natuur aanwezig dan in het beekstelsysteem van de Bakelse Aa. Een hoger percentage landbouw is in dit geval gecorreleerd aan meer buisdrainage en beregening, waardoor hoge piekafvoeren sneller plaatsvinden. Het grote risico op ondergrondverdichting en de aanwezigheid van buisdrainage maakt de midden- en benedenloop van de Kaweise Loop en de Bakelse Aa gevoelig voor droogte. Langs de Snelle Loop komt voornamelijk landbouw rondom de midden- en benedenloop voor, waardoor een zeer groot risico op ondergrondverdichting, meer beregening en buisdrainage aanwezig is. Dit maakt de midden- en benedenloop van de Snelle Loop gevoelig voor droogte.

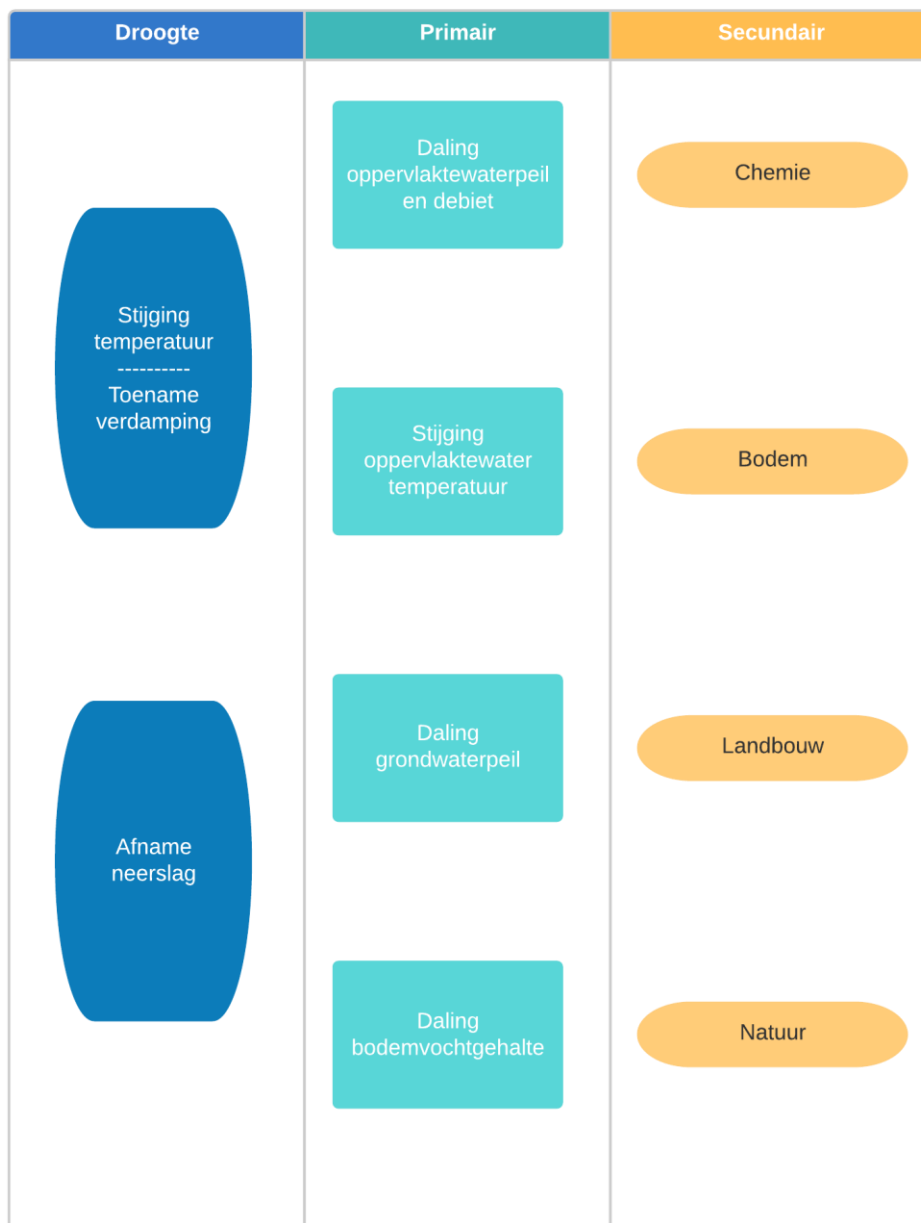
Tabel 2: Vergelijking Snelle Loop en Bakelse Aa

	Snelle Loop	Bakelse Aa
Kwel en infiltratie	Boven- en middenloop: infiltratie Benedenloop: jaarronde voeding van kwel	Grote delen van het beekstelsysteem worden jaarrond met kwel gevoed
Grondwaterstanden	Gemiddeld één tot twee meter onder maaiveld	Gemiddeld één tot twee meter onder maaiveld
Oppervlaktewatersysteem	Gestuwde beek met vispassages voor vismigratie	Gestuwde beek met vispassages voor vismigratie
Risico op ondergrondverdichting	Zeer groot risico langs de midden- en benedenloop	Bovenstrooms van de Kaweise Loop en benedenstroom van de Bakelse Aa een matig risico. Groot risico overig gedeelte beekstelsysteem Bakelse Aa
Drainage	Voornamelijk midden- en benedenloop	Kaweise Loop, de Vlier en aanknopingspunt waar de zijbeken aan de Bakelse Aa takken
Landgebruik	54% Landbouw 37% Natuur	60% Landbouw 25% Natuur

4. Effecten van droogte

In dit hoofdstuk wordt verder ingegaan op droogte in beeksystemen en worden de effecten van droogte geanalyseerd. De effecten zijn opgedeeld in primaire en secundaire effecten. De primaire effecten zijn een direct gevolg van droogte en de secundaire effecten zijn gevolgen van de primaire effecten.

In Figuur 18 worden de geanalyseerde effecten van droogte uit dit hoofdstuk visueel weergegeven. In de volgende paragrafen wordt toegelicht welke effecten plaatsvinden tijdens droogte en wat de eventuele gevolgen hiervan zijn.



Figuur 18: Stroomschema over de verschillende effecten van droogte

4.1. Primair

Daling oppervlaktewaterpeil en debiet

De Snelle Loop en de Bakelse Aa worden gevoed door neerslag en gedeeltelijk door kwel. Wanneer een neerslagtekort optreedt en meer water verdampt, stroomt er minder water door de gestuwde beken. Naarmate het debiet afneemt, nemen de marges (breedte) van de beek ook af en wordt deze 'losgekoppeld' van de oeverzone³ (fase 1 in Figuur 20) (Lake, 2003; Bond, Lake, & Arthington, 2008). Wanneer de droogte langer aanhoudt zal de beek uiteindelijk stil komen te staan, waardoor geïsoleerde plassen achterblijven (fase 2). Tenslotte zal het stroombed van de beek droogvallen, waardoor deze wordt 'losgekoppeld' van de hyporheïsche zone⁴ (fase 3) (Lake, 2003). De benedenloop van de Snelle Loop en de Bakelse Aa in het beekstelsel van de Bakelse Aa zullen sneller droogvallen dan de andere delen van de beek, doordat deze beken voornamelijk gevoed worden door inlaatwater vanuit een kanaal.



Verlies connectiviteit oeverzone, marges van de beek nemen af.

Stroming van de beek stopt.

Verlies van verticale connectiviteit, beek valt droog.

Figuur 19: Effect van droogte op een beek (Dobel, O'Hare, Gunn, & Edwards, 2019)

Stijging oppervlaktewater temperatuur

De watertemperatuur kan worden beïnvloed door verschillende omgevingsomstandigheden. Deze omstandigheden omvatten zonlicht/zonnestraling, warmteoverdracht uit de atmosfeer, verminderd debiet en troebelheid van het water. Zonnestraling heeft de grootste invloed op de watertemperatuur. Zonlicht is een vorm van thermische energie, deze energie wordt als warmte overgebracht naar een wateroppervlak (zoals een beek), waardoor de temperatuur van het water toeneemt. Atmosferische warmteoverdracht vindt plaats aan het wateroppervlak. Als de lucht heet is, zal koud water de energie ontvangen en opwarmen. Deze overdracht van energie kan beide kanten op. Een vermindering in debiet zorgt ervoor dat het wateroppervlak sneller kan opwarmen. Tevens speelt de troebelheid van het water mee in de stijging van de temperatuur van het oppervlaktewater. Troebelheid is de hoeveelheid zwevende stoffen in het water. Deze deeltjes absorberen warmte van zonnestraling efficiënter dan niet troebel water. De stijging van de watertemperatuur heeft hittestress als gevolg voor de waterflora en -fauna. Tevens verhogen de afbraaksnelheden (door micro-organismen). Het belangrijkste gevolg is de verlaging van de concentratie opgeloste zuurstof, waardoor anoxische⁵ omstandigheden ontstaan (Suren et al, 2003; Verweij et al., 2007). Wanneer anoxische omstandigheden ontstaan in een beek, zorgt dit voor goede omstandigheden voor blauwalg en botulisme. Hierdoor kan sterfte van vissen en vogels optreden (Waterschap Vechtstromen, 2019).

³ Oeverzone: Waar land en water elkaar ontmoeten. Deze zone is belangrijk voor de gezondheid van beken, omdat het bijdraagt aan de balans van voedingsstoffen, zuurstof en sediment. Tevens beschermt de oeverzone de waterloop tegen verontreiniging (Coördinatie Commissie Integraal Waterbeleid, sd).

⁴ Hyporheïsche zone: Het gebied van sediment en poreuze ruimte onder en naast een beek, waar menging plaatsvindt van ondiep grondwater en oppervlaktewater (van der Hoek & Higler, 1993).

⁵ Anoxisch: Zonder zuurstof

Daling grondwaterpeil

Wanneer de grondwaterstand tot een bepaald niveau zakt, kan de kweldruk verminderen of helemaal wegvallen. Dit betekent dat de beken niet meer gevoed worden door grondwater, waardoor ze sneller droog zullen vallen. Dit heeft tevens het gevolg dat verdroging optreedt in de bodem. Grondwater wordt onttrokken voor de drinkwatervoorziening, industrie, beregening van landbouwgewassen en wordt verdampt door flora (van den Eertwegh et al., 2019). In de zomer is de waterbehoefte groter, daarom wordt meer water onttrokken en daalt de grondwaterspiegel. Hierdoor treedt er sneller en meer verdroging op.

Daling bodemvochtgehalte

Wanneer er minder neerslag valt en de bodem minder wordt gevoed door grondwater (door daling in de grondwaterstand), neemt het percentage bodemvocht⁶ in de bodem af. Dit heeft als direct gevolg dat de waterbeschikbaarheid voor planten negatief wordt beïnvloed. Hierdoor wordt de productiviteit van gewassen verminderd. Tevens heeft een verlaging van bodemvocht een effect op de bodemvoedingsstoffen. De verspreiding van nutriënten en in wateroplosbare voedingsstoffen wordt sterk verminderd. Droogte verandert de samenstelling en activiteit van de microbiële gemeenschappen⁷ in de bodem. Deze gemeenschappen bepalen de C- en N-transformaties, welke vervolgens de bodemvruchtbaarheid en nutriëntenkringloop bepalen (Schimel, Wallenstein, & Balser, 2007). Bodemvocht is een belangrijk onderdeel van de hydrologische cyclus⁸. Bodemvocht heeft invloed op hydrologische, meteorologische en biologische processen en interageert met de atmosfeer, vegetatie, oppervlaktewater en diepere grondwaterlagen. De beschikbaarheid van bodemvocht beïnvloedt de verdampingssnelheden, welke de atmosferische processen⁹ beïnvloeden. Tevens hangt de groei van vegetatie af van de opname van water door de wortels, dat gerelateerd is aan de beschikbaarheid van water rondom de wortelsystemen (Pezij, 2020).

⁶ Bodemvocht is het water in de onverzadigde zone boven de grondwaterspiegel.

⁷ Microbiële gemeenschappen: Een groep micro-organismen die op één dezelfde plaats leven.

⁸ Hydrologische cyclus is de waterkringloop.

⁹ Atmosferische processen zijn processen die in de lucht plaatsvinden.

4.2. Secundair

Chemie

Een afname in debiet vermindert de verdunning van opgeloste stoffen in de beek. Hierdoor neemt de concentratie van deze stoffen toe, waardoor de geleidbaarheid en de pH-waarde van de beek toeneemt (van Vliet & Zwolsman, 2008; Verweij, van der Wiele, van Moorselaar, & van der Grinten, 2010). Als de beek nog gevoed wordt door grondwater, kan de toename van de nutriëntenconcentraties worden gecompenseerd door de toevoeging van nutriëntarm grondwater (Dahm et al., 2003; Golladay & Battle, 2002). De aanvulling van grondwater in de beek zorgt ervoor dat de nutriëntenconcentraties minder hard oplopen. Wanneer de grondwaterspiegel te ver zakt en de beek niet meer gevoed kan worden, kan de verhoging van de nutriëntenconcentraties niet meer tegengehouden worden. Dit kan gaan leiden tot eutrofiëring¹⁰.

In beken en rivieren is het belangrijkste korte termijneffect van droogte de verergering van eutrofiëring. Door een langzame waterstroming kunnen de algen die op de bodem groeien niet worden weggespoeld, waardoor deze zich kunnen ophopen (O'Hare et al., 2018; Kinzie et al., 2006; Wade et al., 2002).

Het water wordt troebel door de toename van algen. Doordat het water troebel wordt komt minder licht in het water. De planten onderwater krijgen hierdoor te weinig licht, waardoor te weinig fotosynthese kan plaatsvinden. Dit leidt tot sterfte onder onderwaterplanten. Door deze sterfte wordt minder zuurstof geproduceerd. Door een zuurstof- en voedseltekort sterven vissen in het water. Door de sterfte van planten en vissen is meer voedsel aanwezig voor micro-organismen. De micro-organismen gebruiken de zuurstof in het water om organisch materiaal af te breken. Hierdoor ontstaat een zuurstofarme omgeving. Dit zorgt voor een reductie in de biodiversiteit van de beek (Leentvaar, 1970; Rminfo, 2018; Joost, 2014; Lenntech, sd).

Bodem

Door een verlaging in de grondwaterstand en een afname van bodemvocht, verdroogt de bodem. Bodemdaling komt voornamelijk voor op klei- en veenpakketten. Noord-Brabant wordt doorkruist door vele beekdalen waar lokaal klei- en veenpakketten aanwezig zijn. Hierdoor kan lokaal in een beeksysteem inklinking plaatsvinden. Hoe dikker het aanwezige klei- of veenpakket, hoe meer zetting plaats kan vinden.

Landbouw

Op de hoge zandgronden is de wateraanvoer volledig afhankelijk van neerslag. Om te voorkomen dat de waterstand in beken te laag komt staan, wordt vaak in een droogteperiode een beregeningsverbod uit oppervlaktewater ingesteld. De droogte en het beregeningsverbod zorgen ervoor dat er minder gewasopbrengst is. Dit geldt voornamelijk voor gewassen zoals aardappelen en uien (Barts Potato Company, 2012; Prins et al., 2018). Agrariërs hebben daarom tijdens een droogte te kampen met een kleinere oogst en veel droogteschade (Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie, 2018). Hoe langer de droogte aanhoudt, hoe meer schade de landbouw op kan lopen. Tevens krijgen agrariërs te maken met afname van bodemvocht, waardoor gewassen minder water uit de bodem kunnen opnemen. Hierdoor moeten agrariërs meer beregenen om de gewasschade te verminderen. Grondwater is een belangrijke bron voor agrariërs voor beregening in een droge periode. Wanneer het grondwaterpeil te laag zakt en een grondwateronttrekingsverbod wordt ingesteld, kunnen de agrariërs niet meer beregenen. Deze situatie leidt tot gewasschade.

Effecten op landbouw

Onttrekingsverboden op zowel oppervlakte- als grondwater
Gewasschade
Opbrengstderving

¹⁰ Eutrofiëring: Het overmatig vermeerderen van de voedselrijkdom in water.

Natuur

Droogte heeft ook een grote impact op de natuur. Wanneer droogte ervoor zorgt dat het bodemvochtpercentage, de grondwaterspiegel en het debiet in beken daalt, is minder water aanwezig in het beeksysteem. De meeste planten zijn voor hun watervoorziening afhankelijk van de beschikbaarheid van water in de wortelzone. Tijdens een droogte is het belangrijk dat genoeg water zich in de bodem bevindt om sterfte te voorkomen. De waterbehoefte verschilt per plant, per vegetatie en per groeicyclus, hierdoor verschilt het per gebied hoeveel hittestress en sterfte wordt ervaren (Wouters, Denys, & van den Borre, 2018; Verburg, 1995). Zoals beschreven in paragraaf 4.1 kan droogte zorgen voor een afname in debiet waardoor een beek aansluiting met de oeverzone verliest. Dit kan leiden tot habitatverlies van de oevervegetatie. Het habitatverlies is afhankelijk van de duur, periodiciteit en seizoensinvloeden van de droogte. Tevens kan droogte een verschuiving van aquatische naar terrestrische vegetatie¹¹ in beweging zetten. Naast vegetatie direct gelegen aan de oevers van een beek, hebben natuurgebieden met bossen en heide het ook zwaar tijdens een droogte. Veel heide sterft af en veel bomen zijn verzwakt. Sterk verdroogde natuur heeft een verhoogd risico op natuurbranden. Natuurbranden ontstaan wanneer de natuur erg droog is door een gebrek aan neerslag, gecombineerd met hoge temperaturen en wind (Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie, 2018). Een voorbeeld hiervan is de recente natuurbrand op de Deurnese Peel, dicht gelegen bij de Snelle Loop en de Bakelse Aa.

De lage grondwaterstand en sterfte onder planten zorgt ervoor dat minder voedsel beschikbaar is voor dieren. Regenwormen bevinden zich bijvoorbeeld dieper in de bodem door de lage grondwaterstand. De matige aanwezigheid van voedsel zorgt voor een hoog sterftecijfer onder dieren (Natuurmonumenten, 2019; Natuurmonumenten, sd). Een combinatie van de bovengenoemde gevolgen van droogte zorgen voor een verlies van natuurwaarden, habitattypen en biodiversiteit in Nederland.

Effecten op natuur
Sterfte flora en fauna
Verhoogd risico op natuurbranden
Verlies natuurwaarden, habitattypen en biodiversiteit

¹¹ Terrestrisch vegetatie: Vegetatie dat met de wortels op het 'land' is gevestigd.

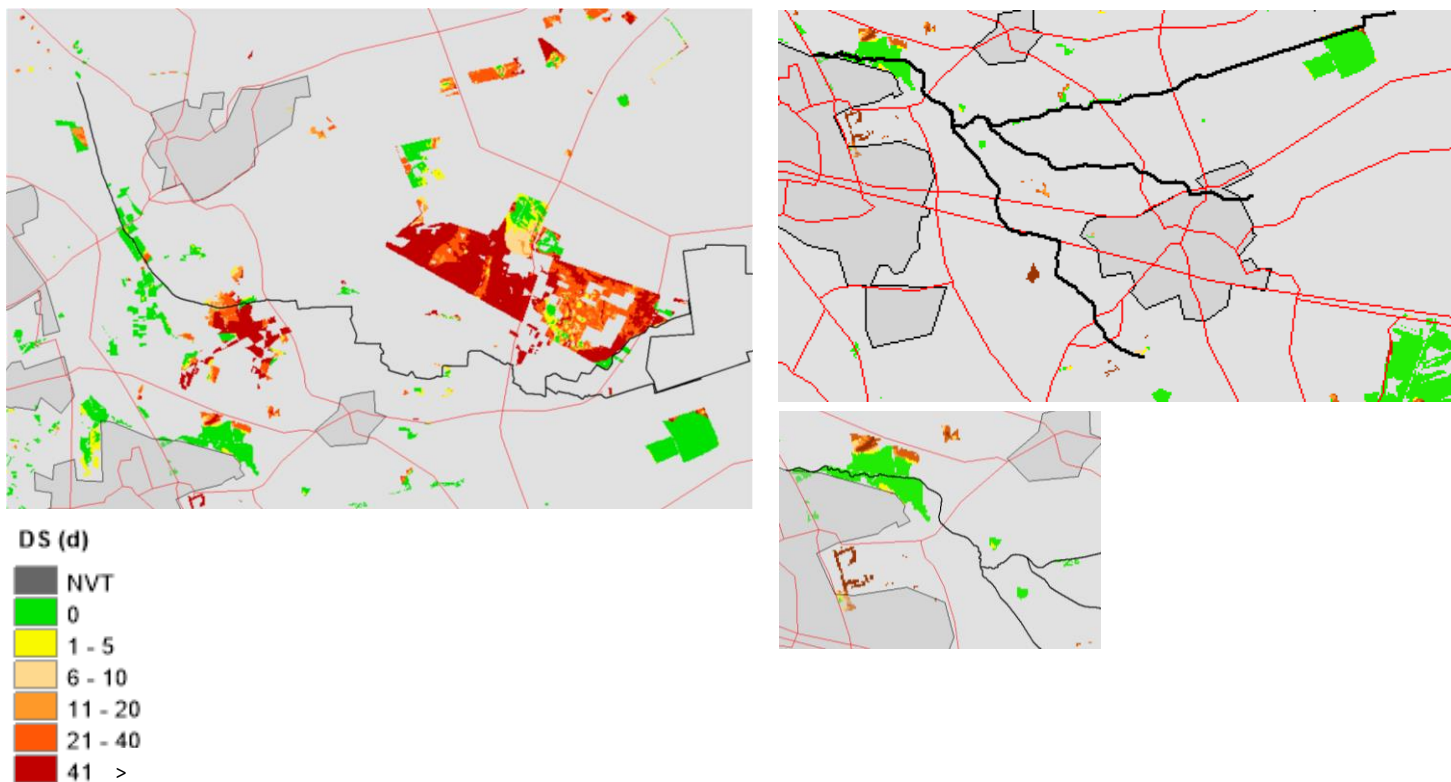
4.3. WaterWijzer Natuur

In deze paragraaf is de kwetsbaarheid van natuurgebieden voor droogte rondom de Snelle Loop en de Bakelse Aa onderzocht. Hierbij is de GLG, GVG (gemiddelde voorjaars grondwaterstand), kwel, droogtestress¹² en totale doelrealisatie bestudeerd. De totale doelrealisatie is de som van de GLG, GVG en de droogtestress binnen een gebied.

4.3.1. Droogtestress

Figuur 20 weergeeft de droogtestress van de natuurgebieden rondom de Snelle Loop en de Bakelse Aa. Opvallend is dat rondom de Snelle Loop meer droogtestress wordt ondervonden dan rondom de Bakelse Aa. Voornamelijk het natuurgebied de Stippelberg en het natuurgebied ten zuiden van Gemert ondervinden veel droogtestress (41 of meer dagen per jaar). Dit komt overeen met het natuurdoeltype dat voornamelijk groeit in deze twee gebieden: Droog bos N15.02 Dennen-, eiken-, en beukenbos (Bij12, sd).

Rondom de Bakelse Aa ondervinden twee kleine gebieden droogtestress van 21 dagen of meer. Gelegen langs de noordelijke flanken van het natuurgebied langs de benedenloop van de Bakelse Aa en het gebied langs de Oude Aa. Voor beide gebieden geldt dat er voornamelijk een droog natuurdoeltype voorkomt, droog bos langs de benedenloop en droge heide langs de Oude Aa.



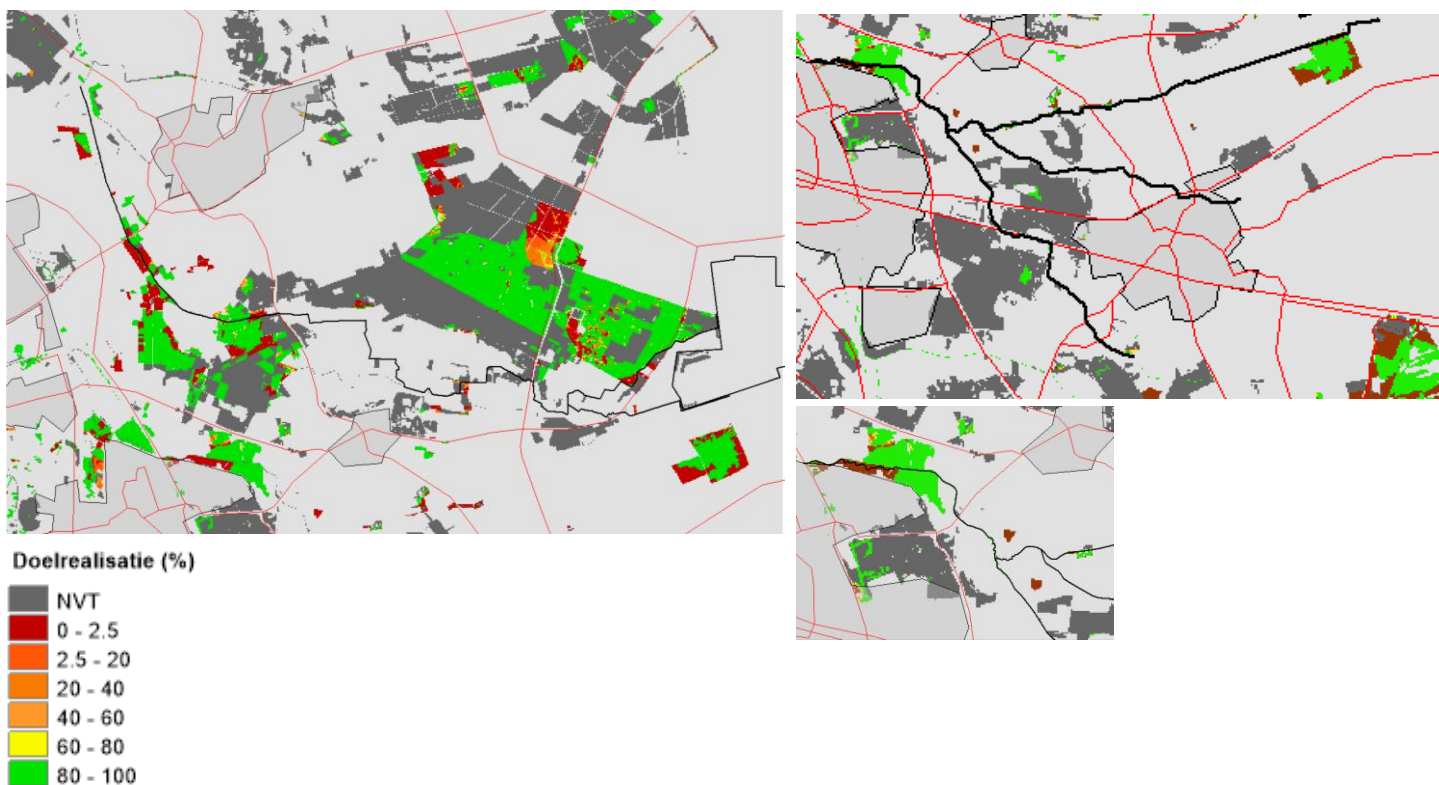
Figuur 20: Droogtestress natuurgebieden (links Snelle Loop, rechts Bakelse Aa)

¹² Droogtestress: Het aantal dagen dat de vochtspanning in de bovengrond dichtbij of op het verwelkingspunt ligt (Runhaar & Hennekens, 2014). Dit komt voor wanneer de drukhoogte in het midden van de wortelzone lager dan 120 centimeter is (Jansen & Runhaar, 2005).

4.3.2. Doelrealisatie droogtestress

Figuur 21 weergeeft de doelrealisatie¹³ met betrekking tot droogtestress. Grofweg twee derde van de natuurgebieden rondom het beekstelsel van de Snelle Loop zijn qua doelrealisatie droogtestress gehaald. De natuurgebieden welke veel droogtestress ondervinden in Figuur 20, hebben in Figuur 21 de doelrealisatie behaald. Dit komt doordat de droogte overeenkomt met de gestelde doelen voor deze natuurgebieden.

Bijna alle natuurgebieden rondom de Bakelse Aa halen de gestelde doelrealisatie. Het natuurgebied dat in Figuur 20 geen droogtestress ervaart, behaald in Figuur 21 de doelrealisatie aan de randen van het natuurgebied niet. Hier komt voornamelijk droog bos voor, terwijl in het midden voornamelijk natte heide voorkomt. Het is waarschijnlijk te nat in dit natuurgebied om de doelrealisatie voor het droge bos te kunnen behalen. Hetzelfde geldt voor de twee gebieden langs de benedenloop van de Kawaise Loop.



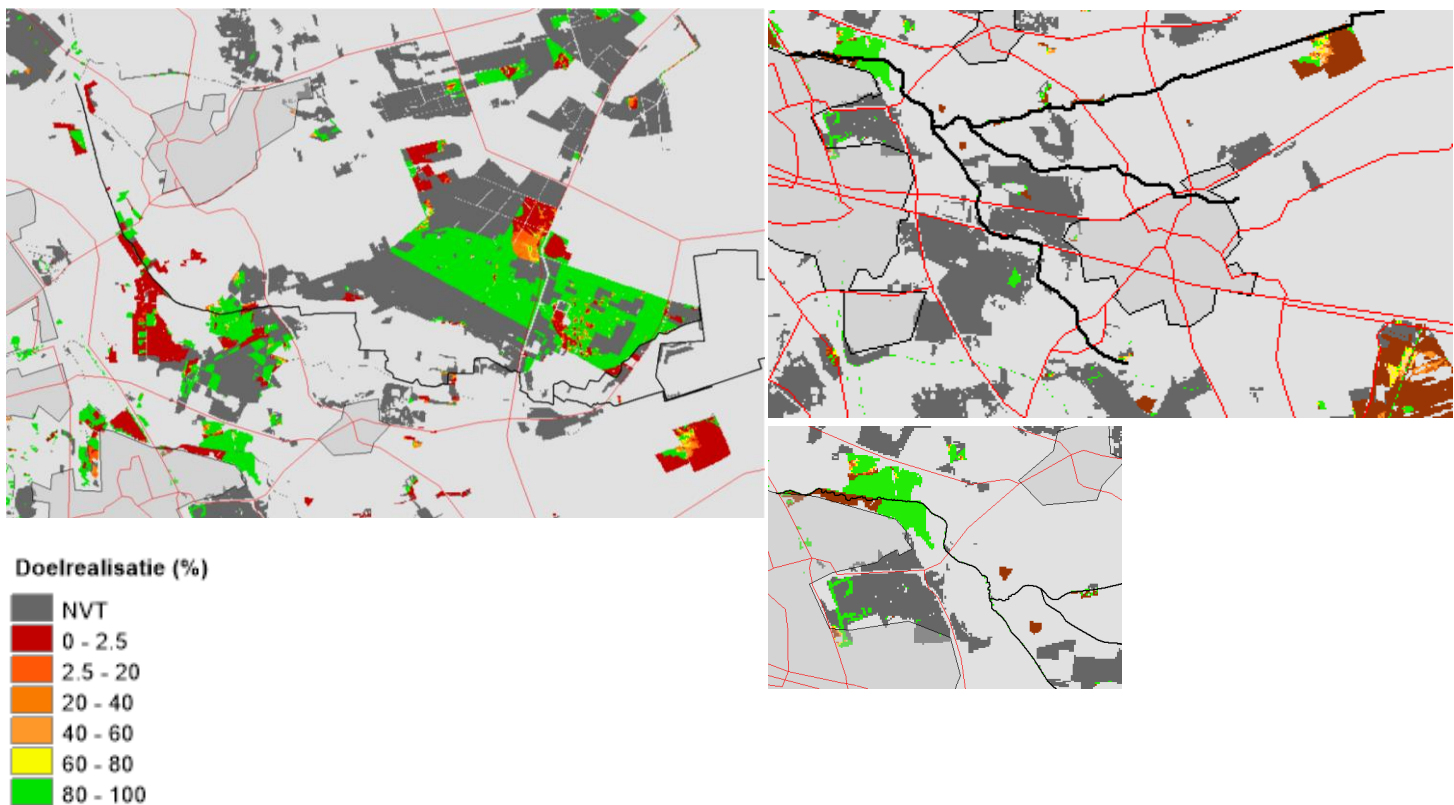
Figuur 21: Doelrealisatie droogtestress (links Snelle Loop, rechts Bakelse Aa)

¹³ Doelrealisatie: De mate waarin de huidige waterhuishouding voldoet. De doelrealisatie is honderd procent wanneer de functie zonder enige hydrologische beperking kan worden vervuld, en nul procent wanneer de hydrologische condities zodanig zijn dat de functie niet kan worden vervuld. Voor de natuur betekent een doelrealisatie van honderd procent dat het geplande natuurdoeltype zonder beperkingen kan worden gerealiseerd, en nul procent dat het type niet gerealiseerd kan worden (Runhaar & Hennekens, 2014).

4.3.3. Totale doelrealisatie droogtestress

In Figuur 22 wordt de totale doelrealisatie van de natuurgebieden weergegeven. Zichtbaar is dat dit figuur redelijk hetzelfde is als de doelrealisatie droogtestress. De overeenkomende groene natuurgebieden hebben de doelrealisatie GLG, GVG en kwel gehaald. De totale doelrealisatie kan alleen behaald worden wanneer de doelrealisatie van de GLG, GVG en kwel zijn behaald. Voor de Snelle Loop zit het verschil in het natuurgebied ten zuiden van Gemert. De natuur in dit gebied betreft hoog- en laagveenbos, dit is een nat bos waar de GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand) niet lager dan zestig centimeter onder maaiveld mag zakken. In deze figuur is zichtbaar dat de totale doelrealisatie minder dan 2,5 procent is, terwijl dat in Figuur 21 de doelrealisatie 80 tot 100 procent is.

Het verschil langs de Bakelse Aa zit in het Natura2000-gebied bovenstrooms van de Kaweise Loop. De vochtige heide en droge bossen halen maar 0 - 2,5 procent van de totale doelrealisatie. Dit komt voor het droge bos overeen met de doelrealisatie uit Figuur 21. De doelrealisatie van de GLG en GVG is niet gehaald voor de vochtige heide, tijdens een droge periode zakt de grondwaterstand te diep voor dit natuurdoeltype.



Figuur 22: Totale doelrealisatie (links Snelle Loop, rechts Bakelse Aa)

4.4. WaterWijzer Landbouw

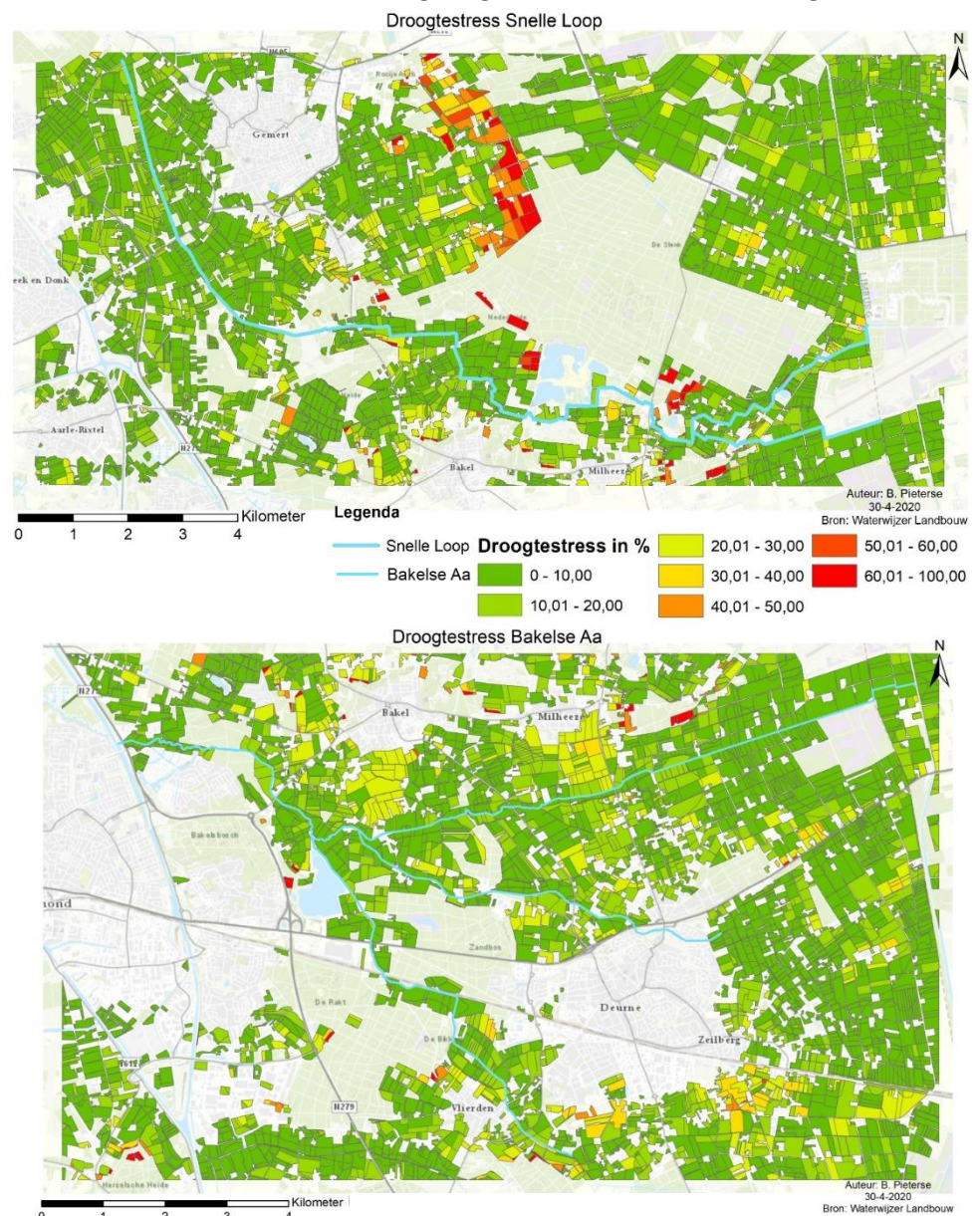
Om de kwetsbare landbouwgebieden langs de Snelle Loop en de Bakelse Aa aan te kunnen tonen, is gebruik gemaakt van de percentages in droogtestress en de totale opbrengstderving. Deze percentages zijn geanalyseerd voor een gemiddeld jaar, een nat jaar (1998) en een droog jaar (2003). De Waterwijzer Landbouw rekent met data tussen 1981 en 2010, daarom zijn de bovengenoemde jaren gekozen voor de analyse in plaats van recentere natte en droge jaren. In Bijlage 6 is het droge jaar 2003 vergeleken met 2018 om het effect van de droogte in beide beeksystemen in deze jaren te analyseren.

4.4.1. Droogtestress

In Figuur 23 is een duidelijk verschil zichtbaar tussen de Snelle Loop en de Bakelse Aa. Terwijl de Snelle Loop op een aantal percelen droogtestress ervaart, komt dit nauwelijks voor langs de Bakelse Aa. Uit het figuur is op te maken dat de percelen waar droogtestress wordt ervaren, zich bevinden in clusters. De percelen welke veertig procent of meer droogtestress ervaren verbouwen voornamelijk maïs en suikerbieten. Deze twee gewassen groeien in de zomermaanden en worden pas vanaf half september geoogst (Mtshoogterp, sd; Werkgroep Handboek snijmaïs, 2018). Deze maanden zijn de warmste maanden van het jaar, tevens valt in deze maanden een geringe hoeveelheid aan neerslag. Hierdoor ondervinden deze gewassen in vergelijking met andere gewassen in het gebied sneller droogtestress.

In vergelijking met een gemiddeld of nat jaar ligt de droogtestress in een droog jaar drie keer zo hoog (zie tabel Bijlage 7).

De landbouwpercelen welke twintig tot vijftig procent droogtestress ondervinden is het verschil bijna vijf keer zo groot in een droog jaar.



Figuur 23: Droogtestress landbouwgebieden tijdens een droog jaar

4.5. Kwetsbare gebieden

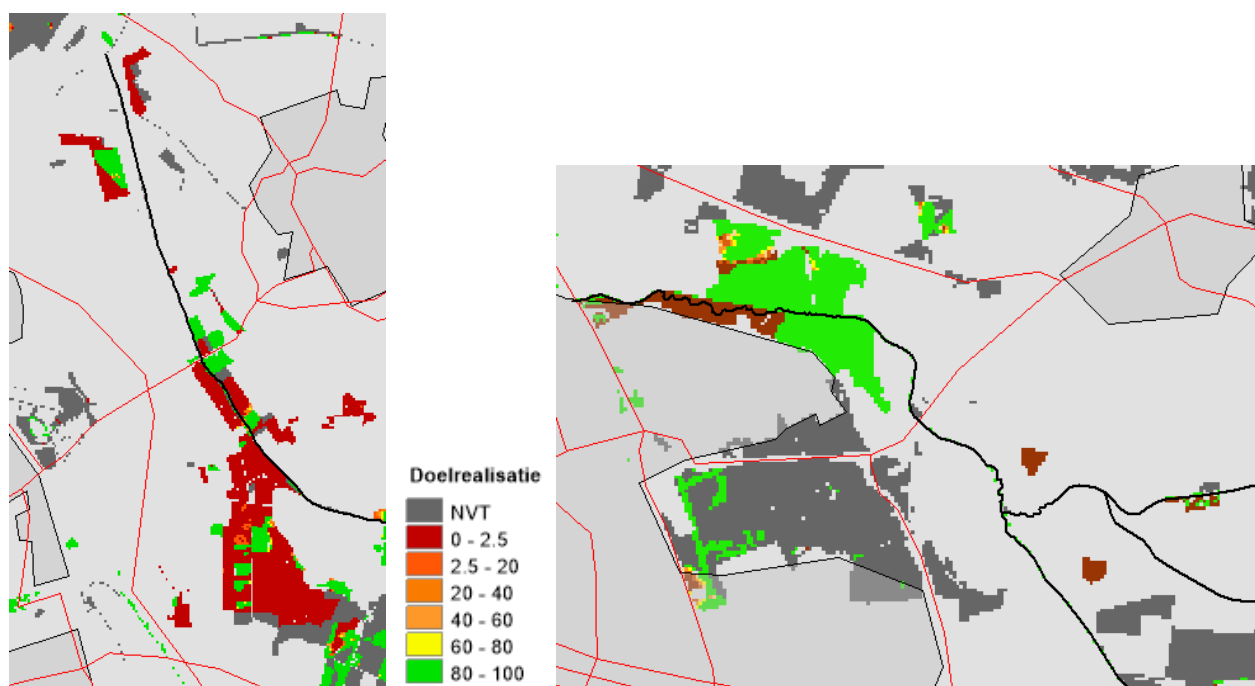
4.5.1. Kwetsbare natuurgebieden

Snelle Loop

De natuurgebiedenanalyse ten aanzien van droogtestress en doelrealisatie rondom de Snelle Loop, weergeeft een aantal natuurgebieden. Deze natuurgebieden zijn kwetsbaar voor droogte en kunnen daarbij de doelrealisatie niet halen. Deze natuurgebieden bevinden zich rondom de benedenloop van de Snelle Loop. In Figuur 24 zijn de locaties van deze gebieden weergegeven. Deze gebieden hebben verschillende natuurdoeltypen. Uit de Waterwijzer Natuur blijkt dat de kwetsbare gebieden onder drie natuurdoeltypen vallen, zie Tabel 3.

Tabel 3: Natuurdoeltypen kwetsbare gebieden rondom de Snelle Loop (Bij12, sd).

Natuurdoeltype	Valt onder	Benaming
N12.02	Rijke graslanden en akkers	Kruiden en faunarijkgrasland
N14.02	Vochtige bossen	Hoog- en laagveenbos
N15.02	Droge bossen	Dennen-, eiken- en beukenbos



Figuur 24: Kwetsbare natuurgebieden (links Snelle Loop, rechts Bakelse Aa)

Bakelse Aa

Uit de analyse van droogtestress en doelrealisatie in natuurgebieden rondom de Bakelse Aa zijn een aantal gebieden naar voren gekomen als kwetsbaar. Deze natuurgebieden bevinden zich rondom de benedenloop van de Bakelse Aa en ten oosten van de Bakelse Aa en de Oude Aa, in Figuur 24 zijn de locaties van deze gebieden weergegeven. Deze gebieden hebben verschillende natuurdoeltypen. Uit de Waterwijzer Natuur blijkt dat de kwetsbare gebieden onder twee natuurdoeltypen vallen, zie Tabel 4.

Tabel 4: Natuurdoeltypen kwetsbare gebieden rondom de Bakelse Aa (Bij12, sd).

Natuurdoeltype	Valt onder	Benaming
N12.02	Rijke graslanden en akkers	Kruiden en faunarijkgrasland
N15.02	Droge bossen	Dennen-, eiken- en beukenbos

4.5.2. Kwetsbare landbouwgebieden

Voor zowel de Snelle Loop als de Bakelse Aa geldt dat de landbouwpercelen welke maïs of suikerbieten verbouwen het meest kwetsbaar zijn voor droogte. Voor de Snelle Loop geldt dat deze percelen zich voornamelijk concentreren rond de midden- en benedenloop. Voor de Bakelse Aa geldt dat de kwetsbaarste percelen zich bevinden langs de Kaweise Loop en de Bakelse Aa. Voor beide beken geldt dat de percelen zich voornamelijk langs de beek bevinden.

5. Potentiële maatregelen

In dit hoofdstuk worden de potentiële maatregelen beschreven. Deze maatregelen kunnen toegepast worden voor het voorkomen en/of verminderen van droogte (-effecten) in beeksystemen.

Uit voorgaand hoofdstuk is naar voren gekomen dat de effecten van droogte zowel in de beek als langs de beek merkbaar zijn. Om droogval en de effecten van droogte zoveel mogelijk tegen te gaan zijn de maatregelen samengesteld (Tabel 5). De maatregelen zijn samengesteld vanuit verschillende bronnen waarvan de rapportage Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland (van den Eertwegh, et al., 2019) en Nederland beter weerbaar tegen droogte (Beleidsstafel Droogte, 2019) voornamelijk geraadpleegd zijn.

De bovenstaande maatregelen zijn uitgewerkt in een tabel op de volgende pagina (Tabel 6), de volledige uitwerking is terug te vinden in Bijlage 9. De maatregelen zijn uitgewerkt middels een literatuurstudie. Per maatregel is de sub-maatregel beschreven, indien aanwezig. Daarnaast wordt kort beschreven onder uitwerking wat de maatregel inhoudt. De maatregel wordt visueel gemaakt

Tabel 5: Maatregelen tegen droogte

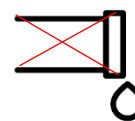
Nummer	Maatregel
Inrichtingsmaatregelen	
1	Waterbergend vermogen in de bodem verhogen
2	Veranderen van de afvoerdynamiek en de grondwateraanvulling
3	Dood hout aanbrengen/laten liggen
4	Aanpassen beekprofiel
Beheermaatregelen	
5	Aanpassen berekening
6	Maaibeleid in de beek aanpassen
7	Stuwbeheer aanpassen

door het koppelen aan een symbool¹⁴, waardoor in de volgende hoofdstukken gemakkelijker is bij te houden over welke maatregel het gaat.

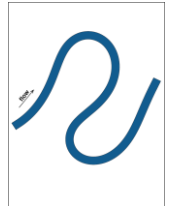
¹⁴ De symbolen komen van de volgende bronnen: (Natuurverdubbelers, sd; Icons8; IconsMind; Free-icons-download; Iconfinder).

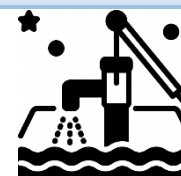
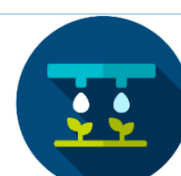
Tabel 6: Maatregelen tegen droogte

Hoofdmaatregel	Sub-maatregel	Uitwerking	Symbool
1. Waterbergend vermogen van de bodem verhogen	Aanpassen landgebruikstypen	Aanpassen van de landgebruikstypen waardoor meer gebieden gecreëerd kunnen worden voor het opvangen en infiltreren van water. Bron: (van den Eertwegh et al., 2019; Beleidstafel Droogte, 2019)	Landgebruik 
	Verminderen van bodemverdichting	Het verminderen van bodemverdichting door: - Het gebruiken van vaste rijpaden op landbouwgronden; - Door het land minder te bewerken en om te spitten; - Door het verminderen van de bandenspanning; - Door het vergroten van het oppervlak van de band. Hierdoor zal de bodem niet verder verdicht worden, waardoor meer water kan worden opgeslagen in de bodem. Bron: (Commissie Bemesting Akkerbouw en Vollegrondsgroententeelt, 2020; van Wijk, 2019; de Lijster et al., 2016)	Bodemverdichting 

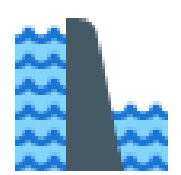
Hoofdmaatregel	Sub-maatregel	Uitwerking	Symbool
2. Veranderen van de afvoerdynamiek en de grondwateraanvulling	Verwijderen van buisdrainage	Door het verwijderen van de buisdrainage wordt water minder snel afgevoerd richting de beek. Bron: (Ontwikkeling Beheer en Natuurkwaliteit; Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren, 2017)	Buisdrainage 
	Peilgestuurde /regelbare drainage	Peilgestuurde /regelbare drainage zorgt ervoor dat water niet meteen wordt afgevoerd, maar deels vastgehouden wordt in de bodem. Deze soort drainage is minder effectief op de hogere zandgronden. Als peilgestuurde drainage al aanwezig is kan dit worden omgezet naar subirrigatie. Subirrigatie is omgekeerde drainage, in plaats van water afvoeren wordt water toegevoegd aan het systeem. Bron: (Schaap & van Essen, 2013; STOWA, 2018; van Zandvoort, 2018)	Peilgestuurd 

Hoofdmaatregel	Uitwerking	Symbool
3. Dood hout aanbrengen/laten liggen	Door het aanbrengen/laten liggen van dood hout in het beekprofiel, ontstaan natuurlijke beekstromen met kleine watergangen binnen de hoofdwatgang. In de beek ontstaan door het inbrengen van dood hout, verschillende stroomsnelheden en stromingen. Bron: (Verdonschot et al., 2011; Verdonschot R., 2019)	Dood hout 

Hoofdmaatregel	Sub- maatregel	Uitwerking	Symbool
4. Aanpassen beekprofiel	Verbreden en verondiepen	Verondieping van de beek zorgt voor het langzamer stromen van de beek en een vertraagde afvoer. Hierdoor blijft het water langer in het gebied en verminderd de draineren de werking van de beek. Het verondiepen van de beek wordt gedaan door het aanbrengen van zandsuppletie. Bron: (Alterra, 2015; Ontwikkeling Beheer en Natuurkwaliteit; Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren, 2017)	Verbreden/ verondiepen 
	Meanderen	Het laten meanderen van rechte beeklopen om doorstroming in droge periodes te verzekeren en ruimte te geven aan overstromingen. Het water in de beek moet namelijk een grotere afstand afleggen. Door deze afstand is de stroomsnelheid lager dan in het huidige beekprofiel, waardoor minder water wordt afgevoerd. Bron: (Verdonschot et al., 2011)	Meanderen 

Hoofdmaatregel	Sub-maatregel	Uitwerking	Symbool
5. Aanpassen beregening	Beperkingen en verboden	Door wateronttrekkingen te minimaliseren, daalt de (grond-)waterspiegel minder snel waardoor de bodem minder snel verdroogt. Een beperking kan zijn dat agrariërs niet meer overdag mogen beregenen, dit heet ook wel een beregeningsverbod. Wanneer het oppervlaktewaterpeil of het grondwaterpeil te laag zakt kan het waterschap een onttrekkingsverbod laten gelden. Bron: (Beleidsstafel Droogte, 2019; van den Eertwegh et al., 2019)	Beperkingen en verboden 
	Druppelirrigatie	Door gewassen te beregenen met druppelirrigatie wordt zo duurzaam mogelijk omgegaan met het beschikbare water. Druppelirrigatie zorgt ervoor dat de juiste hoeveelheid water op de juiste locatie op het perceel terecht komt. Bron: (Meijeren & Hulshof, 2018)	Irrigatie 

Hoofdmaatregel	Uitwerking	Symbool
6. Maaibeleid in de beek aanpassen	Meer begroeiing in de beek zorgt voor een hogere weerstand. Deze grotere weerstand kan ervoor zorgen dat de stroomsnelheid tot drie keer zoveel afneemt en dat het debiet tot dertig procent afneemt. Bron: (Keizer-Vlek & Verdonschot, 2015).	Maaibeleid 

Hoofdmaatregel	Uitwerking	Symbool
7. Stuwbeheer aanpassen	De stuwen worden voor een droge periode omhoog gezet zodat minder water wordt afgevoerd en de stroomsnelheid daalt. Tevens heeft het water meer tijd om in de bodem te infiltreren. Bron: (van den Eertwegh et al., 2019)	Stuwbeheer 

6. Multicriteria-Analyse

In dit hoofdstuk wordt een Multicriteria-Analyse (MCA) uitgevoerd om de effectiviteit van de maatregelen uit voorgaand hoofdstuk te testen. Aan de hand van verschillende parameters en beoordelvingsvragen is per maatregel de effectiviteit in een beekstelsel bepaald. De onderbouwing van de beoordelingen is uitgewerkt in Bijlage 10.

De MCA is uitgevoerd aan de hand van verschillende parameters en de daarbij behorende beoordelvingsvragen (Tabel 7). De parameters zijn opgesteld uit het literatuuronderzoek uit de voorgaande hoofdstukken 4 en 5. Op basis van dit literatuuronderzoek zijn verschillende procentuele wegingen toegekend aan de parameters. De parameter met het grootste droogte mitigerende effect, krijgt het hoogste percentage toebedeeld. De maatregelen zijn getest met het oog op een positief effect op het beekstelsel ten aanzien van droogte. Dit betekent dat tijdens de toetsing geen rekening is gehouden met de eventuele negatieve effecten op bijvoorbeeld de landbouwsector.

Tabel 7: Multicriteria-analyse met beoordelvingsvragen en parameters

	Parameters	Beoordelvingsvraag
1	Bodemvochtgehalte	Vegroot de maatregel de vochtcapaciteit in de bodem?
2	Tijdsperiode water vasthouden	Hoe beïnvloedt de maatregel het beschikbare watervolume gedurende een droge periode?
3	Afvoercapaciteit	Wat zijn de veranderingen in de afvoercapaciteit bij het toepassen van de maatregel?
4	Landgebruik	Dient bij het toepassen van de maatregel het omliggende landgebruik te veranderen?
5	Waterkwaliteit	Verandert de maatregel de waterkwaliteit?
6	Levensduur	Hoe lang gaat de maatregel mee/ hoe lang werkt de maatregel zodra deze geïmplementeerd is?

Beoordelvingscategorie		
1	2	3
Bodemvochtgehalte blijft gelijk	Bodemvochtgehalte neemt beperkt toe	Bodemvochtgehalte neemt aanzienlijk toe
Alleen gedurende droge periode	Langer dan één droge periode	Permanent
Waterafvoer blijft gelijk	Waterafvoer enigszins vertraagd	Waterafvoer vertraagd
Landgebruik blijft hetzelfde	Beperkte aanpassingen aan landgebruik	Grote aanpassingen aan landgebruik
Mogelijke verslechtering	Waterkwaliteit blijft gelijk	Mogelijke verbetering
Gaat één of minder dan een droge periode mee	Gaat een jaar mee of moet meerdere keren per jaar worden ingesteld/aangepast	Gaat meerdere jaren mee

De effecten van het toepassen van een maatregel worden beoordeeld aan de hand van de opgestelde beoordelvingsvragen. De vragen zijn opgesteld om duidelijk te maken wat getoetst wordt per parameter. De vragen worden allemaal kwalitatief beoordeeld met behulp van een effectcijfer van 1 tot en met 3, hoe groot het verwachte effect is van de maatregel op een beekstelsel.

De beoordeling van de effectiviteit van de maatregelen zijn uitgewerkt in Tabel 8. Vervolgens worden de beoordelingen in Tabel 9 doorgerekend met een weging per parameter. De weging is per parameter opgesteld middels een percentage, dat totaal uitkomt op honderd procent. De hoogste weging (30 procent) is toegekend aan het verhogen van het bodemvochtgehalte. Om de effecten van droogte te mitigeren heeft het vergroten van de vochtcapaciteit in de bodem het grootste effect. Door water te laten infiltreren in de bodem, zorgt dit voor het aanvullen van de oppervlakte- en grondwaterstanden. Hierdoor blijft de beek langer watervoerend in een droge periode.

De tijdsperiode waarin water wordt vastgehouden is de tweede parameter en heeft een weging van 25 procent. Het water wordt vastgehouden in de grond of in de beek. Hoe langer de maatregel ervoor zorgt dat water in het gebied blijft, hoe beter dit is om de effecten van droogte te kunnen mitigeren.

Vervolgens heeft de parameter afvoercapaciteit een weging van 20 procent. Door het vertragen van de afvoer blijft langer water beschikbaar in het beekstelsysteem, wat de drainerende werking van de beek beperkt.

Met een weging van 15 procent is het aanpassen van landgebruik de vierde parameter. Het aanpassen van landgebruik heeft namelijk invloed op de ontwatering van de omliggende omgeving en op het bodemvochtpercentage.

Tevens wordt de effectiviteit van de maatregel getoetst op de waterkwaliteit (5 procent). De waterkwaliteitsbeoordeling wordt per maatregel getoetst op het verwachte effect van de maatregel.

Tot slot wordt de levensduur per maatregel beoordeeld (5 procent). Hoe langer een maatregel meegaat na het implementeren ervan in het beekstelsysteem hoe duurzamer de maatregel is. Hoe langer een maatregel mee gaat of werkt tijdens een droge periode, hoe duurzamer de desbetreffende maatregel is.

Tabel 8: Multicriteria-analyse beoordeling per maatregel

Multicriteria-Analyse Maatregel varianten	Maatregel 1		Maatregel 2		Maatregel 3	Maatregel 4		Maatregel 5		Maatregel 6	Maatregel 7
	Landgebruik	Bodemverdichting	Buisdrainage	Peilgestuurd	Dood hout	Verbreden/ verondiepen	Meanderen	Beperkingen en verboden	Irrigatie	Maaibeleid	Stuwbeheer
Bodemvochtgehalte	3	3	3	1	2	2	2	1	1	2	2
Tijdsperiode water vasthouden	3	3	3	1	2	3	3	1	1	2	2
Afvoercapaciteit	1	1	2	2	2	2	2	1	1	3	3
Landgebruik	3	2	2	1	1	2	3	1	1	1	2
Waterkwaliteit	3	2	2	1	3	3	3	2	2	2	1
Levensduur	3	3	3	2	2	3	3	1	2	2	1
Totale punten beoordeling per maatregel	16	14	15	8	12	15	16	7	8	12	11

Tabel 9: Multicriteria-analyse beoordeling met weging per maatregel

Multicriteria-Analyse Maatregel varianten	Weging	Maatregel 1		Maatregel 2		Maatregel 3	Maatregel 4		Maatregel 5		Maatregel 6	Maatregel 7
		Landgebruik	Bodemverdichting	Buisdrainage	Peilgestuurd	Dood hout	Verbreden/ verondiepen	Meanderen	Beperkingen en verboden	Irrigatie	Maaibeleid	Stuwbeheer
Bodemvochtgehalte	30	90	90	90	30	60	60	60	30	30	60	60
Tijdsperiode water vasthouden	25	75	75	75	25	50	75	75	25	25	50	50
Afvoercapaciteit	20	20	20	40	40	40	40	40	20	20	60	60
Landgebruik	15	45	30	30	15	15	30	45	15	15	15	30
Waterkwaliteit	5	15	10	10	5	15	15	15	10	10	10	5
Levensduur	5	15	15	15	10	10	15	15	5	10	10	5
Totale punten beoordeling per maatregel	100	260	240	260	125	190	235	250	105	110	205	210

In Tabel 10 zijn de getoetste maatregelen uit de MCA weergegeven op volgorde van effectiviteit.

De vijf hoogst scorende (sub-)maatregelen zijn:

- 1) Aanpassen landgebruikstypen;
- 2) Verwijderen van buisdrainage;
- 3) Meanderen;
- 4) Verminderen van bodemverdichting;
- 5) Verbreden en verondiepen van een beekprofiel.

De hoogste twee (sub-)maatregelen scoren de hoogst haalbare beoordeling op de belangrijkste twee parameters; bodemvochtgehalte en tijdsperiode water vasthouden. Beide maatregelen zorgen dat permanent meer water in de bodem wordt gehouden en vergroten daarmee aanzienlijk het bodemvochtgehalte.

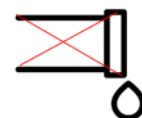
Tabel 10: De elf getoetste maatregelen voor de effectiviteit op een beekstelsysteem

	Maatregel	Totaal
1	Landgebruik	260
2	Buisdrainage	260
3	Meanderen	250
4	Bodemverdichting	240
5	Verbreden/ verondiepen	235
6	Stuwbeheer	210
7	Maaibeleid	205
8	Dood hout	190
9	Peilgestuurd	125
10	Irrigatie	110
11	Beperkingen en verboden	105



Aanpassen landgebruikstypen is de effectiefst scorende maatregel. Door de aanpassingen van het landgebruik wordt gezorgd voor een mogelijke verbetering van de waterkwaliteit. De afvoercapaciteit blijft hetzelfde. De levensduur na het implementeren van deze maatregel is meerdere jaren.

Vervolgens is het verwijderen van buisdrainage het effectiefst. De maatregel scoort minder op waterkwaliteit, afvoercapaciteit en landgebruik in vergelijking met de maatregel aanpassen landgebruikstypen. De waterkwaliteit blijft behouden, de waterafvoer wordt enigszins vertraagd en het landgebruik heeft beperkte aanpassing nodig.



Op de derde plaats staat de maatregel, het meanderen van de beek. Deze maatregel heeft dezelfde beoordeling als maatregel aanpassen landgebruikstypen, alleen zorgt de maatregel meanderen voor het beperkt toenemen van het bodemvochtgehalte en zorgt de maatregel voor een enigszins beperkte afvoercapaciteit.

De vierde maatregel is het verminderen van bodemverdichting. Deze maatregel scoort lager op waterkwaliteit en landgebruik. Deze maatregel heeft geen effect op de afvoercapaciteit, daarom scoort deze maatregel laag op deze parameter. De waterkwaliteit blijft bij deze maatregel hetzelfde en het landgebruik heeft beperkte aanpassingen nodig. Op de overige parameters scoort de maatregel hetzelfde als de hoogst scorende maatregel.



De vijfde maatregel is het verbreden en verondiepen van een beekprofiel. Deze maatregel zorgt voor het beperkt toenemen van het bodemvochtgehalte en kan permanent worden ingezet. De afvoercapaciteit wordt enigszins vertraagd. Het landgebruik blijft hetzelfde en de waterkwaliteit heeft een mogelijke verbetering. Wanneer de maatregel geïmplementeerd is, gaat deze meerdere jaren mee.

De bovengenoemde vijf (sub-)maatregelen worden getoetst op effectiviteit in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa in het volgende hoofdstuk.

7. Maatregelenpakket

In dit hoofdstuk worden de vijf efficiëntste maatregelen uit het vorige hoofdstuk getoetst op effectiviteit binnen de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa. De maatregelen zijn theoretisch onderzocht en waar mogelijk getest binnen de WaterWijzer Landbouw (paragraaf 7.1.). Vervolgens is een maatregelenpakket samengesteld (paragraaf 7.2.).

Uit de Multicriteria-Analyse in hoofdstuk 6, blijkt dat de totale beoordelingspunten van vijf maatregelen redelijk dicht bij elkaar liggen. Daarom zijn deze vijf hoogst scorende maatregelen (Tabel 11) gekozen om te toetsen met de WaterWijzer Landbouw, waarmee de toepassing binnen de beeksystemen van de Snelle Loop en Bakelse Aa getest kan worden. Tevens is gekozen om alleen de vijf hoogst scorende maatregelen te testen vanwege beperkte onderzoekstijd.

Tabel 11: De vijf hoogst scorende maatregelen voor de effectiviteit op een beekstelsysteem

	Maatregel	Totaal
1	Landgebruik	260
2	Buisdrainage	260
3	Meanderen	250
4	Bodemverdichting	240
5	Verbreden/ verondiepen	235

Om te onderzoeken in hoeverre de maatregel een positief effect heeft op het mitigeren van de effecten van droogte en daarbij het verminderen van de kwetsbaarheid van de gebieden rondom de Snelle Loop en de Bakelse Aa, wordt gekeken naar landschappelijke karakteristieken (hoofdstuk 3) en naar de algemene effecten van droogte in een beekstelsysteem (paragrafen 4.1 en 4.2). De ligging van de boven-, midden-, en benedenloop van de beeksystemen is weergegeven in Bijlage 2 paragraaf 2.3.

7.1. Effectiviteit maatregelen in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa

7.1.1. Aanpassen landgebruikstypen

Bij het aanpassen van de landgebruikstypen dient onderzocht te worden welke landgebruikstypen het meeste droogtestress ervaren in de beeksystemen en welke landgebruikstypen het effectiefst zijn voor het verminderen van het percentage aan droogtestress. Door het aanpassen van de landgebruikstypen wordt het waterverbruik verminderd en bij landbouwpercelen wordt de ondergrond minder verdicht. De ondergrond wordt minder intensief gebruikt, waardoor het water beter in de bodem kan infiltreren. Het bodemvochtgehalte wordt hierdoor vergroot.

De effectiviteit van het aanpassen van het landgebruik in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa is getest aan de hand van de WaterWijzer Landbouw. Hierbij zijn vier verschillende scenario's getoetst waarbij de teeltkeuze op landbouwpercelen wordt aangepast van maïs/suikerbiet naar agrarisch gras¹⁵ (Tabel 12).

Tabel 12: Resultaten scenario's aanpassen landgebruik

Scenario	Aanpassing landgebruik	Percentage vermindering droogtestress (%)
1	Maïs → beweiding	18 tot 22
2	Maïs → gras	22 tot 24
3	Suikerbiet → beweiding	8 tot 34
4	Suikerbiet → gras	11 tot 34

¹⁵ De verandering van maïs en suikerbiet naar gras is getoetst, omdat uit hoofdstuk 4 is gebleken dat deze twee gewassen het gevoeligst zijn voor droogte. Dit is beschreven in hoofdstuk 4 paragraaf 4.4.

Uit de analyse in de WaterWijzer Landbouw blijkt dat het aanpassen van maïs en suikerbiet naar gras of beweiding de grootste impact heeft op de vermindering van droogtestress rondom de beeksystemen. Maïs of suikerbiet veranderen naar gras zorgt voor het hoogste percentage vermindering in droogtestress. Het aanpassen van maïs heeft een effectiviteit tussen de 18 en 24 procent. Het aanpassen van suikerbieten heeft een grotere effectiviteitsmarge. De vermindering van droogtestress kan tussen de 8 en 34 procent liggen. Dit verschilt per perceel en de origineel getoetste droogtestress. Maïs ondervindt namelijk op bijna elk perceel veel droogtestress, terwijl dit varieert voor suikerbieten. Deze variatie zorgt ook voor een variatie in het percentage vermindering droogtestress.

Snelle Loop

Akkerbouw (25,8 procent), bos (25 procent) en agrarisch gras (24,5 procent) zijn de voornaamste landgebruikstypen rondom de Snelle Loop (paragraaf 3.2.1.). De akkerbouwpercelen bestaan grotendeels uit maïs, waarbij 108 percelen van de 207 (tijdens een droog jaar) in totaal veertig procent of meer droogtestress ondervinden (Bijlage 7). Deze percelen liggen voornamelijk langs de boven- en de middenloop van de Snelle Loop. Het gewas maïs ondervindt veertig procent of meer droogtestress. Het effectiefst is om in plaats van maïs, gras te telen. Door deze aanpassing wordt de droogtestress verminderd met 22 tot 24 procent.

Bakelse Aa

Akkerbouw (32,1 procent), bos (23,5 procent) en agrarisch gras (17,8 procent) zijn de voornaamste landgebruikstypen rondom de Bakelse Aa (paragraaf 3.2.1.). De akkerbouwpercelen zijn gelegen in de boven- en benedenloop van de Kawaise Loop, in de bovenloop van de Vlier, de Bakelse Aa en de Oude Aa. Op deze percelen worden voornamelijk maïs en suikerbieten verbouwd. Tijdens een droog jaar ondervinden 93 van de 145 maïspcelen veertig procent of meer droogtestress (Bijlage 7). Hoewel suikerbieten veel worden verbouwd in dit beekstelsysteem, ondervinden maar een aantal percelen meer dan veertig procent droogtestress. Het effectiefst is om deze suikerbietpercelen te veranderen naar gras, waardoor 11 tot 34 procent minder droogtestress wordt ondervonden. Tevens worden de maïspcelen aangepast naar gras voor een vermindering van 22 tot 24 procent droogtestress.

7.1.2. Verwijderen van buisdrainage

Door het verwijderen van buisdrainage kan het water infiltreren in de bodem in plaats van dat het water versneld wordt afgevoerd. Hierdoor wordt het bodemvochtgehalte van de percelen verhoogd. Het verwijderen van buisdrainage zorgt voor een verhoging van de grondwaterstand rondom de desbetreffende percelen. Deze verhoging kan van enkele centimeters tot één meter zijn (Provincie Limburg, 2019).

Om de effectiviteit van het verwijderen van buisdrainage, uit de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa, te toetsen is de WaterWijzer Landbouw gebruikt. Hierbij zijn vier hypothetische scenario's doorgerekend op percelen waar buisdrainage aanwezig is (zie Figuur 17 in paragraaf 3.2.3). Bij deze scenario's is gerekend met het verhogen van de GHG en GLG (Tabel 13).

Tabel 13: Resultaten scenario's verwijderen buisdrainage

Scenario	Verhoging grondwaterstand (cm)	Percentage vermindering droogtestress (%)
1	10-15	2 tot 3
2	20-25	3 tot 5
3	30-35	5 tot 7
4	40-45	6 tot 8

Tabel 13 weergeeft de resultaten uit de vier verschillende scenario's welke met de WaterWijzer Landbouw zijn doorgerekend. Uit de analyse blijkt dat het verwijderen van buisdrainage zorgt voor twee tot acht procent vermindering in droogtestress.

Hoewel uit de MCA blijkt dat dit de tweede effectiefste maatregel is, blijkt uit deze analyse dat deze maatregel rondom de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa geen groot effect heeft. De buisdrainage is namelijk gelegen op percelen welke weinig droogtestress ervaren, hierdoor heeft het verwijderen van buisdrainage weinig effect.

7.1.3. Meanderen

Bij het toepassen dient een herinrichtingsproject te worden uitgevoerd voor het meanderen van de beek. Hiervoor moeten (delen van) percelen te worden aangekocht. Door het meanderen van het beekprofiel, moet het water een grotere afstand afleggen. De afvoercapaciteit wordt hierdoor enigszins vertraagd en het water krijgt langer de tijd om in de bodem te infiltreren. Deze maatregel is niet getest in de WaterWijzer Landbouw, de onderstaande resultaten zijn daarom aannames gebaseerd op hoofdstuk 3 en 4.

Snelle Loop

De kwetsbare gebieden rondom de Snelle Loop liggen voornamelijk langs de midden- en benedenloop (zoals beschreven in hoofdstuk 4 paragraaf 4.5). De maatregel toepassen langs deze gebieden is de effectiefste manier van het verhogen van bodemvochtpercentage en hoeveelheid water in het beekstelsel. Tevens liggen langs deze delen van de beek verschillende natuurgebieden, door de maatregel hier toe te passen kan de beek vrijuit meanderen¹⁶.

Bakelse Aa

Het toepassen van meanderen is het effectiefst in de midden- en bovenloop van de Bakelse Aa (zoals beschreven in hoofdstuk 4 paragraaf 4.5). Langs de benedenloop van de Bakelse Aa liggen kwetsbare natuurpercelen voor droogte. Dit gedeelte van de beek is al voornamelijk meanderend, daarom is het het effectiefst om de maatregel bovenstrooms van de kwetsbare gebieden uit te voeren waar nog natuur aanwezig is.

7.1.4. Verminderen van bodemverdichting

Om de bodemverdichting te verminderen dienen landbouwpercelen anders te worden ingericht. Door gebruik te maken van rijpaden wordt de bodem minder verdicht en kan het water beter infiltreren in de bodem. Dit resulteert in een hoger bodemvochtgehalte. De onderstaande resultaten van de deze maatregel zijn aannames gebaseerd op hoofdstuk 3 en 4.

Snelle Loop

Twintig procent van de bovenloop, veertig procent van de middenloop en negentig procent van de benedenloop van dit beekstelsel hebben een groot risico op ondergrondverdichting, zoals uitgewerkt in paragraaf 3.2.2. Het toepassen van deze maatregel is daarom het effectiefst in de benedenloop van de Snelle Loop.

Bakelse Aa

Negentig procent in de boven- en middenloop van de Kawaise Loop, dertig procent in de beneden- en middenloop van de Vlier, veertig procent in de boven-, midden- en benedenloop van de Oude Aa

¹⁶ Meanderen is een actief proces, dit betekent dat na de implementatie van deze maatregel de beek zorgt voor afkalving van de randen van de beek. Wanneer dit is toegepast in landbouwgebieden, zal naast opkoping van land rekening gehouden moeten worden met afkolving van boerenland.

en tien procent in de bovenloop van de Bakelse Aa hebben een groot risico op ondergrondverdichting (zie paragraaf 3.2.2). Het verminderen van bodemverdichting is daarom het effectiefst in de boven- en middenloop van de Kawaise Loop en/of in de bovenloop van de Bakelse Aa (waar de zijbeken de Bakelse Aa instromen).

7.1.5. Verbreden en verondiepen van een beekprofiel

Voor het verbreden en verondiepen van een beekprofiel, is extra ruimte benodigd en dienen (delen van) percelen te worden aangekocht. Doordat de beek verbreed wordt, neemt het bodemvochtgehalte enigszins toe, omdat de aansluiting met de oeverzone wordt vergroot. Hierdoor heeft het water langer de tijd om in de bodem te infiltreren. Tevens zorgt deze maatregel voor een vertraging in de stroomsnelheid. De effectiviteit binnen de beeksystemen van de Snelle Loop en Bakelse Aa is niet getest in de WaterWijzer Landbouw, de onderstaande resultaten zijn aannames gebaseerd op hoofdstuk 3 en 4.

Snelle Loop

Het toepassen van deze maatregel is het effectiefst rondom de kwetsbare gebieden in de benedenloop van de Snelle Loop (beschreven in hoofdstuk 4 paragraaf 4.5). Door deze beek bovenstrooms en langs de gebieden te verbreden en verondiepen krijgt de beek een sponswerking. Hierdoor is meer water beschikbaar tijdens droogte en zullen deze gebieden minder snel droogtestress ervaren.

Bakelse Aa

Voor het beekstelsysteem van de Bakelse Aa geldt hetzelfde als voor de Snelle Loop. Deze maatregel werkt het best als een sponswerking om droogtestress van de kwetsbare gebieden te verminderen. Deze gebieden bevinden zich voornamelijk rond de benedenloop van de Bakelse Aa en het 'aanknopingspunt' waar de zijbeken de Bakelse Aa instromen (beschreven in hoofdstuk 4 paragraaf 4.5).

7.2. Locatie toepassing maatregelen

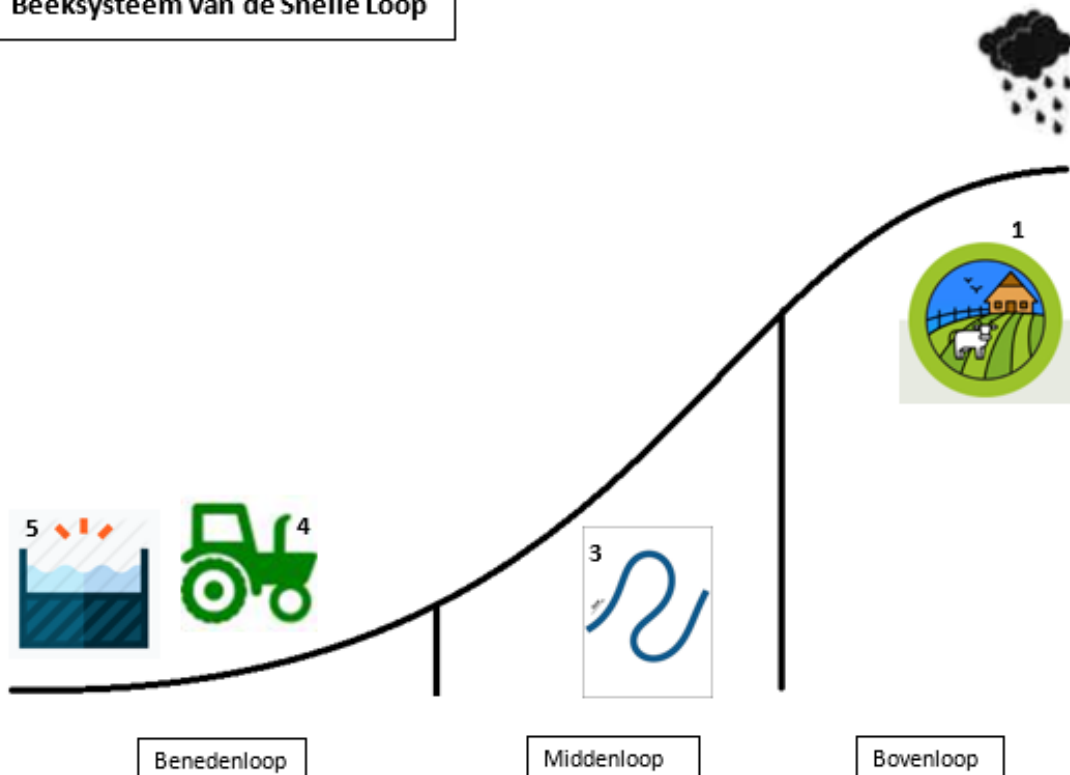
In de onderstaande figuren is per beek(systeem) globaal weergegeven waar welke van de vijf geteste maatregelen toegepast kunnen worden om zo de effecten van droogte zo veel mogelijk te verminderen. Voor een duidelijke visualisatie is gekozen om het beekstelsel van de Bakelse Aa weer te geven in twee figuren, een met de Bakelse Aa alleen en een met de zijbeken van de Bakelse Aa.

Snelle Loop

Uit de analyse van de vorige paragraaf blijkt dat een samenstelling van de maatregelen landgebruikstypen aanpassen, het verminderen van bodemverdichting, het verbreden en verondiepen van het beekprofiel en meanderen het effectiefst is. Deze samenstelling is gevisualiseerd in Figuur 25.

Beekstelsel van de Snelle Loop		
Nr.	Maatregel	Locatie in het beekstelsel
1	Aanpassen landgebruikstypen	Boven- en middenloop
2	Verwijderen van buisdrainage	-
3	Meanderen	Midden- en benedenloop
4	Verminderen van bodemverdichting	Benedenloop
5	Verbreden en verondiepen van een beekprofiel	Benedenloop

Beekstelsel van de Snelle Loop

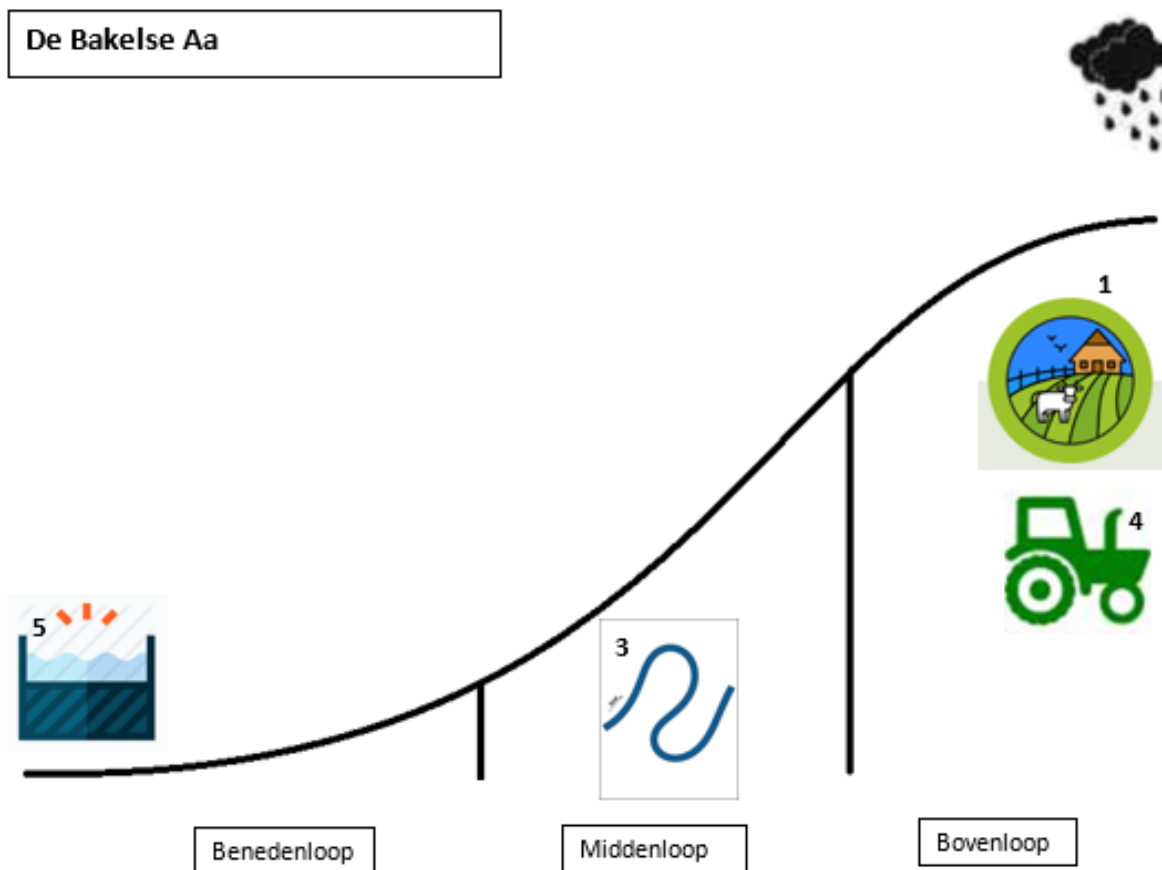


Figuur 25: Maatregelenpakket voor beekstelsel van de Snelle Loop

Beek de Bakelse Aa

Uit paragraaf 7.1 blijkt dat in de beek de Bakelse Aa is de samenstelling van de maatregelen landgebruikstypen aanpassen, het verminderen van bodemverdichting, meanderen en het verbreden en verondiepen van het beekprofiel het effectiefst is. Een visualisatie hiervan is weergegeven in Figuur 26.

De Bakelse Aa		
Nr.	Maatregel	Locatie in het beekstelsysteem
1	Aanpassen landgebruikstypen	Bovenloop
2	Verwijderen van buisdrainage	-
3	Meanderen	Midden- en bovenloop
4	Verminderen bodemverdichting	Bovenloop
5	Verbreden en verondiepen van een beekprofiel	Benedenloop



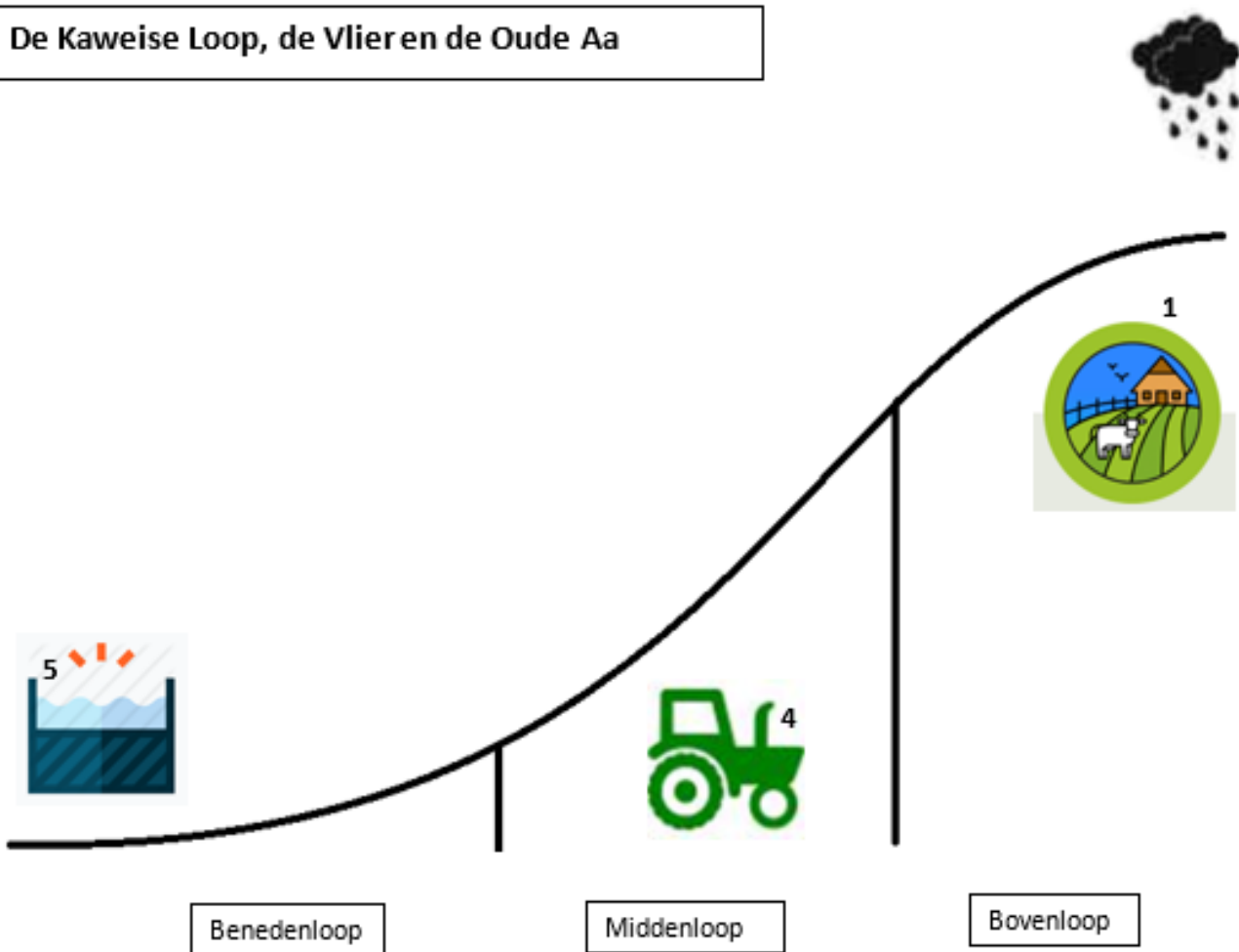
Figuur 26: Maatregelenpakket in de Bakelse Aa

Beken de Kaweise Loop, de Vlier en de Oude Aa

De onderstaande figuur (Figuur 27) visualiseert welke maatregelen waar toegepast kunnen worden in/langs de zijbeken van het beekstelsel van de Bakelse Aa. Uit de analyse uit paragraaf 7.1 blijkt dat een samenstelling van de maatregelen aanpassen landgebruikstypen, verminderen bodemverdichting en verbreden en verondiepen van het beekprofiel het beste werkt om de effecten van droogte in de zijbeken en de Bakelse Aa te verminderen.

De Kaweise Loop, de Vlier en de Oude Aa			
Nr.	Maatregel	Locatie in de Kaweise Loop	Locatie in de Vlier
1	Aanpassen landgebruikstypen	Boven- en benedenloop	Bovenloop
2	Verwijderen van buisdrainage	-	-
3	Meanderen	-	-
4	Verminderen bodemverdichting	Boven- en middenloop	Beneden- en middenloop
5	Verbreden en verondiepen van een beekprofiel	Benedenloop	Benedenloop

De Kaweise Loop, de Vlier en de Oude Aa



Figuur 27: Maatregelenpakket in de Kaweise Loop

8. Conclusie

Dit onderzoek is uitgevoerd om inzicht te krijgen in maatregelen welke de effecten van droogte kunnen voorkomen en/of mitigeren. Hiervoor luidt de volgende onderzoeksvraag:

‘Welke maatregelen dragen bij aan het voorkomen en/of mitigeren van de effecten van droogte in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa?’

Uit het onderzoek blijkt dat voor de Snelle Loop en voor de Bakelse Aa een samenstelling van de maatregelen landgebruikstypen aanpassen, de beek laten meanderen, het verminderen van bodemverdichting en het verbreden en verondiepen van het beekprofiel het meeste effect hebben om de effecten van droogte tegen te gaan in beide beeksystemen. Voor beide beeksystemen geldt dat de effectiviteit van de maatregel afhangt van de toepassing en locatie binnen het beekstelsel. De toepassingen in het gestelde maatregelenpakket zorgen voor een robuust beekstelsel.

De Snelle Loop wordt gevoed door inlaatwater, neerslag en kwel. Hierbij zijn in de bovenloop inlaatwater en neerslag de grootste bijdragers, in de benedenloop is de aanvoer van kwel in combinatie met neerslag het belangrijkste. Voor de Bakelse Aa geldt dat kwel over het gehele beekstelsel een belangrijke rol speelt, naast neerslag en inlaatwater via de Kaweise Loop.

Uit een landgebruiks-analyse van beide beeksystemen blijkt dat landbouw ongeveer vijftig tot zestig procent van het landgebruik betreft. De aanwezigheid van landbouw zorgt voor een groter risico op ondergrondverdichting, beregning en drainage. Hierdoor zijn de midden- en benedenloop van de Snelle Loop kwetsbaar voor droogte, hetzelfde geldt voor de Kaweise Loop en de Bakelse Aa.

De bevindingen zijn vergeleken aan de hand van de WaterWijzer Natuur en de WaterWijzer Landbouw. Uit de analyse met de WaterWijzers blijkt dat de gemarkeerde gebieden uit de gebiedsanalyse ook in deze analyse naar voren komen als kwetsbare gebieden voor droogte. Kwetsbare natuurgebieden kennen voornamelijk de natuurdoeltypen ‘kruiden en faunarijkgasland’, ‘hoog- en laagveenbos’ en ‘dennen-, eiken- en beukenbos. Op de kwetsbare landbouwgebieden wordt voornamelijk maïs en suikerbieten verbouwd.

De analyse naar de effecten van droogte laat zien dat de verschillende effecten verband houden met elkaar. Het afnemen van de hoeveelheid neerslag, het toenemen van de verdamping en de temperatuur, zorgt voor een afname in debiet en stroomsnelheid. Dit kan leiden tot het stilstaan van de beek en zelfs het droogvallen van de beek. Tevens zorgt de verhoogde temperatuur in de buitenlucht voor een verhoging van de temperatuur van het water in de beek en voor een verlaging in de grondwaterstand door een verhoogde waterbehoefte. De afname van neerslag heeft ook als gevolg dat minder water in de bodem kan infiltreren, hierdoor zakt het bodemvocht percentage. Door een verlaging in het bodemvochtpercentage en een verlaging in de grondwaterstand, verdroogt de vegetatie. De bovengenoemde effecten hebben secundaire effecten, welke zorgen voor een verslechtering van de waterkwaliteit, habitatverlies en natuur- en landbouwschade.

Om de bovengenoemde effecten te voorkomen is een analyse uitgevoerd naar verschillende maatregelen. Deze maatregelen hebben als gezamenlijk doel om meer water vast te houden in de beek of in de bodem. De samengestelde maatregelen zijn uit elkaar gezet en beoordeeld op hun voor- en nadelen. Aan de hand van een Multicriteria-Analyse is bepaald welke maatregelen het effectiefst zijn in een beekstelsel. Hieruit zijn vervolgens de vijf effectiefste maatregelen getoetst op de effectiviteit binnen de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa. Uit deze analyse blijkt dat een combinatie van de maatregelen landgebruikstypen aanpassen, meanderen van de beek, het verminderen van bodemverdichting en het verbreden en verondiepen van het beekprofiel zijn het effectiefst voor het verminderen van droogte-effecten in de onderzochte beeksystemen.

9. Discussie

In dit onderzoek zijn verschillende aannames gemaakt ten aanzien van de gebieds- en de WaterWijzers analyse. Doordat alleen gebruik is gemaakt van literatuuronderzoek en niet van veldonderzoek kan niet met zekerheid gezegd worden dat de gebruikte data honderd procent overeenkomt met de lokale data. De aannames zijn daarom beargumenteerd, vergeleken en toegelicht, zodat deze herleidbaar zijn.

Aannames zijn gemaakt bij de aanwezigheid van drainage, kwel- en infiltratiegebieden en de gemiddelde grondwaterstanden. Voor de kwel- en infiltratiegebieden geldt dat de meest recente data uit 2005 is, hetzelfde geldt voor de gemiddelde grondwaterstanden. De grondwaterstanden zijn wel vergeleken met een landsdekkende kaart met gemiddelde grondwaterstanden uit 2010. Doordat de verschillen minimaal waren is de data uit 2010 gebruikt in dit onderzoek. Doordat de gegevens alleen een beeld kunnen schetsen van de situatie, is de betrouwbaarheid van deze analyse beïnvloed. Hoewel een beeld kan worden geschetst van de kwetsbare gebieden in de beeksystemen, zal dit niet volledig de werkelijke situatie zijn.

Een kanttekening bij de WaterWijzer Landbouw is de rekenperiode. Momenteel kan de WaterWijzer Landbouw alleen rekenen met de jaren tussen 1981 en 2010. Hoewel droge als natte jaren doorgerekend kunnen worden, kan niet onderzocht worden hoe kwetsbaar de beeksystemen in het jaar 2018 waren. De vergelijking tussen 2003 en 2018 is middels het neerslagtekort van het KNMI gemaakt. Hieruit blijkt dat 2018 droger was dan 2003 en waarschijnlijk voor meer kwetsbare gebieden heeft gezorgd. De resultaten uit de WaterWijzer Landbouw weergeven hierdoor maar een gedeelte van de kwetsbare gebieden weer. Doordat de verschillen in kwetsbare gebieden niet bekend zijn, is binnen het onderzoek aangenomen dat de kwetsbare gebieden uit 2003, sowieso gelden voor 2018. Er is geen rekening gehouden met gebieden welke eventueel kwetsbaar zouden kunnen zijn geweest in 2018.

Vanwege de beschikbare hoeveelheid tijd binnen dit onderzoek zijn de samengestelde maatregelen niet getoetst in SOBEK 2. Als gevolg hiervan zijn de effecten van de maatregelen zoals meanderen, aanpassen stuwbeheer en verbreden en verondiepen van het beekprofiel alleen theoretisch in kaart gebracht. Hierdoor is zowel het effect tijdens een droge als een natte periode alleen aan de hand van eigen kennis en literatuurstudie beschreven. Hierdoor kunnen de resultaten afwijken van de reële effectiviteit. Tevens zijn alleen de vijf hoogst scorende maatregelen getoetst op de beeksystemen door de beperkte onderzoekstijd. Hierdoor zijn eventuele maatregelen die minder goed uit de MCA zijn gekomen niet getest op effectiviteit binnen de onderzochte beeksystemen.

De gebruikte methodiek in dit onderzoek is gespecificeerd voor de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa. Echter kunnen de samengestelde maatregelen ook gebruikt worden voor andere beeksystemen. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met de (geo)hydrologische situatie van het beekstelsel en daarmee de toepasbaarheid en effectiviteit van de maatregelen. Doormiddel van literatuuronderzoek en veldwerk kan vastgesteld worden of maatregelen wel of niet toepasbaar zijn binnen een ander beekstelsel.

De maatregel aanpassen landgebruik is alleen getoetst binnen de WaterWijzer Landbouw. Dit betekent dat het aanpassen van landbouwpercelen naar natuurpercelen niet getoetst is. Hierdoor kan de effectiviteit binnen de beeksystemen verschillen met de werkelijkheid. Tevens is het aanpassen van natte natuur naar drogere natuur niet getoetst. Door gebrek aan kennis ten aanzien van ecologie en verandering van natuur, is dit onderzoek niet ingegaan op eventuele veranderingen van landbouw naar natuur of in natuurgebieden. Tevens is de maatschappelijke wenselijkheid van het aanpassen van het landgebruik niet onderzocht. Hoewel globaal bekend is dat deze maatregel een groot effect heeft op de landbouw is hier met de toetsing geen rekening mee gehouden.

10. Aanbevelingen

Ten aanzien van dit onderzoek kunnen nog een aantal aanbevelingen worden gedaan, om eventueel toekomstig onderzoek te verbeteren.

In dit onderzoek is naar voren gekomen dat actuele data voor een gebiedsanalyse van een beekstelsysteem belangrijk is. Daarom wordt aanbevolen om in een vervolgonderzoek, veldonderzoek te doen om de verkregen data te kunnen vergelijken. Tevens wordt aanbevolen om, wanneer mogelijk, actuele data voor de grondwater- en kwel- en infiltratiekaarten toe te passen. Tevens wordt aangeraden om de WaterWijzer Landbouw analyse nogmaals uit te voeren wanneer deze tool rekent met actuele data, zodat een beter beeld geschetst kan worden van de kwetsbare landbouwgebieden.

Momenteel is droogte nog een niet uitgebreid onderzocht onderwerp binnen Nederland waardoor weinig informatie beschikbaar is over de maatregelen. Tevens moet de haalbaarheid van de maatregelen verder worden onderzocht. Hierbij moet worden gekeken naar de verschillende componenten die een aandeel hebben in het verminderen van droogte, zoals het verwijderen van buisdrainage en het verhogen van bodemvochtgehalte. Aan de hand van deze gegevens kunnen de effecten van de maatregelen beter uitgewerkt worden.

Uit het literatuuronderzoek is naar voren gekomen dat bodemvocht een grote rol speelt in droogte en in het voorkomen van droogte. Meer onderzoek naar bodemvocht in relatie met droogte is nodig om maatregelen die beogen bodemvocht te verhogen verder uit te kunnen werken.

Om de effectiviteit van de maatregelen te testen kan gebruik gemaakt worden van een regionaal grondwater- en een oppervlaktewatermodel. Door de maatregelen te toetsen in een model, kan een beter beeld geschetst worden hoe de beek zich gaat gedragen na het toepassen van een maatregel en wat de effecten zijn op de omliggende landbouw- en natuurpercelen. Tevens kan getest worden of een combinatie van verschillende maatregelen werkt of dat de maatregelen elkaar juist tegenwerken. Het toetsen van verschillende scenario's wordt ook geadviseerd, hierdoor kan de werking van een maatregel worden gesimuleerd in zowel een droge als natte periode.

In dit onderzoek is gewerkt met een MCA. Deze MCA is gebaseerd op kennis van de auteurs en literatuuronderzoek. Tevens zijn de gemaakte afwegingen subjectief. Om dit te minimaliseren wordt aangeraden om de MCA voor een vervolgonderzoek te maken met specialisten van verschillende vakgroepen. Hierdoor worden de verschillende meningen meegenomen en kan de effectiviteit objectiever worden uitgedrukt.

Bij het toepassen van de maatregelen in een beekstelsysteem, moet bijvoorbeeld bij de herinrichting van een beekstelsysteem rekening worden gehouden met de lokale omstandigheden bij het werkelijk ontwerpen en implementeren van de maatregel.

Tenslotte wordt aanbevolen om een pilot te starten waarin de verschillende maatregelen getest worden. De maatregelen zijn nog niet getest in een beekstelsysteem waardoor de toepasbaarheid en de 'praktische' effectiviteit van de maatregel nog niet is onderzocht. Door het uitvoeren van een pilot kan onderzocht worden welke maatregelen effectief zijn en welke niet. Tevens kan deze pilot ingaan op de verschillende parameters en hoe belangrijk deze zijn ten opzichte van elkaar.

Bibliografie

- Aardkundige waarden. (2009). *Peelrandbreuk*. Opgeroepen op 3 4, 2020, van Aardkundigewaarden: http://www.aardkundigewaarden.nl/aardkundigemonumenten/detailpagina.php?tuin_ID=340
- Alterra. (2015). *Handboek geomorfologisch beekherstel*. Wageningen: STOWA.
- Barts Potato Company. (2012, 8 24). *Gevolgen van hitte en droogte op aardappelgroei*. Opgeroepen op 4 21, 2020, van Barts Potato Company: <http://www.bartspotatocompany.com/nieuws/Gevolgen-van-hitte-en-droogte-op-aardappelgroei,50356.htm>
- Beleidsstafel Droogte. (2019). *Nederland beter weerbaar tegen droogte*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Bij12. (sd). *Bij12*. Opgeroepen op 04 24, 2020, van Natuurtype: <https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/index-natuur-en-landschap/de-index-natuur-en-landschap/natuurtypen/>
- Birger. (2020). *Wat zijn de gevolgen van droogte*. Opgeroepen op februari 12, 2020, van Voor de Wereld van Morgen: <https://www.voordewereldvanmorgen.nl/duurzame-blogs/wat-zijn-de-gevolgen-van-droogte>
- Bond, N. R., Lake, P. S., & Arthington, A. H. (2008). *The impacts of drought on freshwater ecosystems: an Australian perspective*. Australië: Springer.
- Bos, E. (2019). *Drainage*. Nederland: De Koninklijke Nederlandse Golf Federatie, de Nederlandse Greenkeepers Associatie en de Nederlandse Vereniging van de Golfaccomodaties. Opgehaald van <https://www.ngf.nl/~media/pdfs/ngf/factsheets-2019/factsheet-drainage.pdf?rev=734867197>
- Bosch, J. H. (2003, 3). *Formatie van Peize*. Opgeroepen op 5 5, 2020, van Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond: <https://www.dinoloket.nl/formatie-van-peize>
- Bouwmeester, R. (2019, 8 28). *Europa stemt in met droogtemaatregelen*. Opgeroepen op 3 25, 2020, van Nieuwe Oogst: <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2019/08/28/europa-stemt-in-met-droogtemaatregelen>
- Cluitmans, C. (2019). *Beekontwikkeling /EVZ Snelle Loop, benedenloop*. 's-Hertogenbosch: Waterschap Aa en Maas.
- Commissie Bemesting Akkerbouw en Vollegrondsgroententeelt. (2020). *Opheffen/tegengaan van ondergrondverdichting*. Opgeroepen op 04 15, 2020, van Handboek bodem en bemesting: <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Grondbewerking-en-berijding/Opheffentegengaan-van-ondergrondverdichting.htm>
- Coördinatie Commissie Integraal Waterbeleid. (sd). *Afgebakende oeverzones*. Opgeroepen op 3 27, 2020, van Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid: <https://www.integraalwaterbeleid.be/nl/beleidsinstrumenten/oeverzones>
- Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid. (2020, 3 5). *Overleg binnen de droogtecommissie*. Opgeroepen op 3 25, 2020, van Integraal Waterbeleid: <https://www.integraalwaterbeleid.be/nl/overleg/droogtecommissie>
- Dahm, C., Baker, M., Moore, D., & Thibault, J. (2003). *Coupled biogeochemical and hydrological responses of streams and rivers to drought*. New Mexico: Blackwell Publishing.
- de Lang, F., & Weerts, H. (2003, 3). *Formatie van Stramproy*. Opgeroepen op 3 2, 2020, van Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond: <https://www.dinoloket.nl/formatie-van-stramproy>
- de Lijster, E., van den Akker, J., Visser, A., Allema, B., van der Wal, A., & Dijkman, W. (2016). *Waarden van bodemwatermaatregelen*. Culemborg: CLM.
- Dinoloket. (sd). *Ondergrondmodellen*. Opgeroepen op 5 5, 2020, van Dinoloket: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>
- Dobel, A., O'Hare, M., Gunn, I., & Edwards, F. (2019). *Streams and Rivers*. Edinburgh: NERC.

- Free-icons-download. (sd). Pipe Icon. *Pipe Icon*. free-icons-download.net, <http://www.free-icons-download.net/pipe-icon-71381/>. Opgeroepen op 5 20, 2020, van <http://www.free-icons-download.net/pipe-icon-71381/>
- Golladay, S., & Battle, J. (2002). *Effects of Flooding and Drought on Water Quality in Gulf Coastal Plain Streams in Georgia*. Georgia: Stroud Water Research Center.
- Grondwatertools. (2018, 12). *Putlocatie B52A1488*. Opgeroepen op 5 10, 2020, van Grondwatertools: <https://www.grondwatertools.nl/metran/html/showloc.html?wellid=B52A1488&screenid=001>
- Grondwatertools. (2019). *Putlocatie B51F1758*. Opgeroepen op 3 6, 2020, van Grondwatertools: <https://www.grondwatertools.nl/metran/html/showloc.html?wellid=B51F1758&screenid=001>
- Grondwatertools. (2019). *Putlocatie B51F1858*. Opgeroepen op 3 6, 2020, van Grondwatertools: <https://www.grondwatertools.nl/metran/html/showloc.html?wellid=B51F1858&screenid=001>
- Grondwatertools. (2020). *Grondwatertools viewer*. Opgeroepen op 3 6, 2020, van Grondwatertools: <https://www.grondwatertools.nl/grondwatertools-viewer>
- Grondwatertools. (2020, 1 20). *Putlocatie B51F0247*. Opgeroepen op 4 5, 2020, van Grondwatertools: <https://www.grondwatertools.nl/metran/html/showloc.html?wellid=B51F0247&screenid=001>
- Grondwatertools. (2020, 2 28). *Putlocatie B52A0310*. Opgeroepen op 5 5, 2020, van Grondwatertools: <https://www.grondwatertools.nl/metran/html/showloc.html?wellid=B52A0310&screenid=001>
- Hazeu, G. W., Schuiling, C., Dorland, G. J., Roerink, G. J., Naeff, H. S., & Smidt, R. A. (2014, 12 31). *Landelijk Grondgebruik (LGN) 7*. Wageningen: Alterra Wageningen UR. Opgehaald van Wageningen University and Research: <https://www.wur.nl/nl/project/Landelijk-Grondgebruik-LGN-7.htm>
- Iconfinder. (sd). Icons. *Icons*. Iconfinder, <https://www.iconfinder.com/>. Opgeroepen op 5 20, 2020
- Icons8. (sd). Icons. *Icons*. Icons8, <https://icons8.com/icons>. Opgeroepen op 5 20, 2020, van iconsdb: icons8.com
- IconsMind. (sd). Icons. *Icons*. IconsMind, <http://www.iconsmind.com>. Opgeroepen op 5 20, 2020
- Jansen, P. C., & Runhaar, J. (2005). *Toetsing van het verband tussen het aandeel xerofyten en de droogtestress onder verschillende omstandigheden*. Wageningen: Alterra.
- Janssen, C. (2009). *Steilranden*. Opgeroepen op 3 4, 2020, van Geologie van Nederland: <https://www.geologievannederland.nl/landschap/landschapsvormen/steilranden>
- Joost. (2014, 7 9). *Eutrofiëring*. Opgehaald van Milieufocus: <http://www.milieufocus.nl/factsheets/e/eutrofiëring.html>
- Keizer-Vlek, H., & Verdonschot, P. (2015). *Verkenning van de mogelijkheid om waterplanten in te zetten als natuurlijke stuwen*. Wageningen: Alterra.
- Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie. (2018, 7 20). *De effecten van droogte en hitte*. Opgeroepen op 3 28, 2020, van Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/actueel/actueel/nieuws/2018/effecten-droogte/>
- Kinzie, R., Chong, C., Devrell, J., Lindstrom, D., & Wolff, R. (2006). *Effects of Water Removal on a Hawaiian Stream Ecosystem*. Hawaii: University of Hawaii.
- Koninklijk Meteorologisch Instituut Nederland. (2020). *Historisch verloop neerslagtekort*. Opgeroepen op 5 20, 2020, van KNMI: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/historisch-neerslagtekort>
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut. (2014, 5). *KNMI'14-klimaatscenario's*. Opgeroepen op 2 24, 2020, van KNMI: http://www.klimaatscenario's.nl/scenarios_samengevat/
- Kruit, J. (2020, 2 28). *Droogval Waterschap Aa en Maas*. (M. v. Berg, & B. Pieterse, Interviewers)

- KWR Water Research Institute. (2020). *Waterwijzer Natuur*. Opgeroepen op februari 04, 2020, van KWRwater: <https://www.kwrwater.nl/tools-producten/waterwijzer-natuur/>
- KWT waterbeheersing. (2020). *Stuwen*. Opgeroepen op 05 05, 2020, van KWT waterbeheersing: <https://www.kwtwaterbeheersing.nl/expertise/stuwen/>
- Lake, P. S. (2003). *Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters*. Australië: Blackwell Publishing Ltd.
- Leentvaar, P. (1970). *Het probleem van de eutrofiëring*. Zeist: Rijksinstituut voor Natuurbeheer.
- Lenntech. (sd). *Effecten van eutrofiëring*. Opgeroepen op 3 26, 2020, van Lenntech: <https://www.lenntech.nl/eutrofiëring/effecten.htm>
- Meijeren, S. v., & Hulshof, M. (2018). Zuinig omgaan met zoetwater middels ondergrondse druppelirrigatie. *Stromingen*, 13. Opgeroepen op 05 05, 2020
- Mtshoogterp. (sd). *Suikerbieten*. Opgeroepen op 5 1, 2020, van Mtshoogterp: <http://www.mtshoogterp.nl/suikerbieten.php>
- Nationaal Georegister. (2012, 2 17). *Kwel*. Opgeroepen op 4 18, 2020, van Nationaal Georegister: <https://www.nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/api/records/13c28792-fd75-4081-8324-985c126d1aaf/formatters/xsl-view?view=dutchprofile&portalLink=>
- Natuurmonumenten. (2019, 6 17). *Zorgen over droogte in de natuur*. Opgeroepen op 3 28, 2020, van Natuurmonumenten: <https://www.natuurmonumenten.nl/nieuws/zorgen-over-droogte-de-natuur>
- Natuurmonumenten. (sd). *Droogte*. Opgeroepen op 3 28, 2020, van Natuurmonumenten: <https://www.natuurmonumenten.nl/standpunten/droogte>
- Natuurverdubbelers. (sd). *Landelijk gebied*. Opgeroepen op 5 20, 2020, van Natuurverdubbelers: <http://www.natuurverdubbelers.nl/diensten-werkvelden/#lg>
- Nijland, H. J., Croon, F. W., & Ritzema, H. P. (2005). *Subsurface drainage practices - guidelines for the implementation, operation and maintenance of subsurface pip drainage systems*. Wageningen: Alterra.
- O'Hare, M., Baattrup-Pedersen, A., Baumgarte, I., Freeman, A., Gunn, I., Lázár, A., . . . Bowes, M. (2018). *Responses of Aquatic Plants to Eutrophication in rivers: a revised conceptual model*. Verenigd Koninkrijk: Frontiers in Plant Science.
- Ontwikkeling Beheer en Natuurkwaliteit; Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren. (2017). *Integraal natuurherstel in beekdalen*. Driebergen: Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren.
- Oosterbaan, R. J. (sd). *Drainage for agriculture*. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement.
- Oosterhout, M. v. (2020). *STAR-methode*. Opgeroepen op 5 25, 2020, van Carrière tijder: <http://www.carriertijder.nl/carriere/solliciteren/sollicitatiegesprek/gesprekstechnieken/star>
- PDOK. (2018). *Dataset: Basisregistratie Ondergrond (BRO)*. Opgeroepen op 4 6, 2020, van PDOK: <https://www.pdok.nl/introductie/-/article/basisregistratie-ondergrond-bro->
- PDOK. (sd). *Dataset: Basisregistratie Gewaspercelen (BRP)*. Opgeroepen op 5 10, 2020, van PDOK: <https://www.pdok.nl/introductie/-/article/basisregistratie-gewaspercelen-brp->
- Pezij, M. (2020). *Application of soil moisture information for operational water management water management*. Enschede: Universiteit Twente.
- Prins, H., Jager, J., Stokkers, R., & Asseldonk, M. (2018). *Damage to Dutch agricultural and horticultural crops as a result of the drought in 2018*. Wageningen: Wageningen Economic Research.
- Provincie Friesland. (2010, 7 1). *Kwel*. Opgeroepen op 4 25, 2020, van Nationaal Georegister: <https://www.nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/api/records/13c28792-fd75-4081-8324-985c126d1aaf/formatters/xsl-view?view=dutchprofile&portalLink=>
- Provincie Limburg. (2019, 9 24). *Limburgse Integrale Water Aanpak*. Opgeroepen op 5 20, 2020, van Arcgis.com:

- <https://www.arcgis.com/apps/Cascade/index.html?appid=beb505b35fbf471486c815097fdf7f01>
- Provincie Noord-Brabant. (2005, 12 9). *Huidige kwel- en infiltratie 2005*. Opgeroepen op 4 25, 2020, van Georegister Brabant: <https://georegister.brabant.nl/geonetwork/srv/dut/catalog.search#/metadata/b0a56fad-c6a9-448b-92bd-cea224b7842f>
- Provincie Noord-Brabant. (2020). *Kaartbank*. Opgeroepen op 3 18, 2020, van Kaartbank: <https://kaartbank.brabant.nl/viewer/app/Kaartbank>
- Provincie Noord-Brabant. (2020, 4 21). *Natuurbeheerplan, Natuurbeheertypen (Beheertypenkaart)*. Opgeroepen op 5 10, 2020, van Georegister Brabant: <https://georegister.brabant.nl/geonetwork/srv/dut/catalog.search#/metadata/ca5b2ad5-5f37-45fc-b6a0-0ab418bb13aa?tab=general>
- Rijksoverheid. (2016). *Aanpassen met ambitie: Nationale klimaatadaptatiestrategied 2016 (NAS)*. Den Haag: Rijksoverheid.
- Rijkswaterstaat en Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020). *Droogtemaatregelen en verdringingsreeks*. Opgeroepen op 3 25, 2020, van Infomil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/activiteiten/beheer-watersysteem/droogtemaatregelen/>
- Rminfo. (2018, 9 26). *Hoe ontstaat eutrofiëring en wat zijn de gevolgen?* Opgeroepen op 3 26, 2020, van Dier en natuur info: <https://dier-en-natuur.infonu.nl/milieu/191040-hoe-ontstaat-eutrofiëring-en-wat-zijn-de-gevolgen.html>
- RTV Nunspeet. (2019, 7 31). *Droogvallen Hierdensch beek*. Opgeroepen op 5 16, 2020, van RTV Nunspeet: <https://rtvnunspeet.nl/lokaal-nieuws/droogvallen-hierdensch-beek/>
- Runhaar, H., & Hennekens, S. (2014). *Hydrologische randvoorwaarden natuur versie 3 - Gebruikershandleiding*. Wageningen: STOWA; WUR; KWR.
- Schaap, J. D., & van Essen, E. A. (2013, 6 6). Peilgestuurde drainage: must of mythe? *H2O*, 7. Opgeroepen op 5 5, 2020, van <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/jd-joris-schaap-en-ea-everhard-van-essen-aequator-groen-a-ruimte>
- Schimel, J. P., Wallenstein, M., & Balser, T. C. (2007). *Microbial Stress-Response Physiology and its Implications for Ecosystem Function*. Washington: ESA.
- Schokker, J., de Lang, F. D., Weerts, H. J., den Otter, C., & Passchier, S. (2005, 5). *Formatie van Bostel*. Opgeroepen op 3 2, 2020, van Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond: <https://www.dinoloket.nl/formatie-van-bostel>
- Schouten, C. (2018, 8 23). *Maatregelen in verband met de droogte 2018 en quick scan inkomenseffecten landbouw*. Opgeroepen op 3 25, 2020, van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2018/08/23/maatregelen-in-verband-met-de-droogte-2018-en-quick-scan-inkomenseffecten-landbouw>
- Smit, A., & Tiehatten, B. (2019). *Beek herstel versneld*. Amersfoort: Stowa.
- Steur, G., & Heijink, W. (1991). *Bodemkaart van Nederland Algemene begrippen en indelingen*. Arnhem: Van der Wiel en Smit B.V.
- STOWA. (2010). *Grondwaterregime op basis van karteerbare kenmerken*. Amersfoort: STOWA.
- STOWA. (2018). *Regelbare drainage*. Opgeroepen op 05 05, 2020, van STOWA: <https://www.stowa.nl/deltafacts/zoetwatervoorziening/droogte/regelbare-drainage>
- STOWA. (2019). Succesvol Rivercare-onderzoek voor beter beekherstel: Van het waterschap naar de wetenschap... en weer terug. *STOWA ter info*, 14. Opgeroepen op 05 05, 2020
- Suren, A., Biggs, B., Duncan, M., & Bergey, L. (2003). *Benthic community dynamics during summer low-flows in two rivers of contrasting enrichment*. Oklahoma: Taylor & Francis Group.
- TNO Geologische Dienst Nederland. (2014). *Breuken Gemert-Bakel*. Opgeroepen op 3 4, 2020, van erfgoedwiki: http://www.erfgoedgewiki.nl/index.php/Peelrandbreuk#mediaviewer/Bestand:Breuken_in_Gemert-Bakel.jpg

- van den Akker, J. J., de Vries, F., Vermeulen, G. D., Hack-ten Broeke, M. J., & Schouten, T. (2013). *Risico op ondergrondverdichting in het landelijk gebied in kaart*. Wageningen: Alterra.
- van den Eertwegh, G., Bartholomeus, R., de Louw, P., Witte, F., van Dam, J., van Deijl, D., . . . de Wit, J. (2019). *Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland*. Nederland: KnowH2O – KWR – Deltares – FWE – WUR SLM – HSS.
- van der Hoek, W., & Higler, B. (1993). *Natuurontwikkeling in beken en beekdalen; verkennende studie naar de mogelijkheden van natuurontwikkeling in beek- en beekdalsystemen in Nederland*. Wageningen: Dienst Landbouwkundig Onderzoek.
- van Loon, A. F. (2015). *Hydrological drought explained*. WIREs Water.
- van Vliet, M., & Zwolsman, J. (2008). *Impact of summer droughts on the water quality of the Meuse river*. Nederland: Elsevier.
- van Wijk, A. (2019). *Bodemverdichting, duivels dilemma op natuurgrasvelden*. Nijmegen: Fieldmanager.
- van Zandvoort, R. (2018, 8 13). *Subirrigatie mogelijk alternatief voor beregenen*. Opgehaald van Nieuwe Oogst: <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2018/08/13/subirrigatie-mogelijk-alternatief-voor-beregenen>
- Verburg, P. (1995). *De relatie tussen de vochttoestand van de bodem en de vochtindicatie van de vegetatie*. Wageningen: Vakgroep Waterhuishouding.
- Verdonschot, P., van der Wal, B., & van Weeren, B. (2011). *Beekdalbreed hermeanderen: maximaal ecologisch rendement*. Amersfoort: STOWA.
- Verdonschot, R. (2019). *Ecologische effecten van droogval in beken*. Wageningen: Wageningen University and Research.
- Verloop, J. K. (2019, 11 18). *Voorkom oppervlakkige afspoeling naar de sloot*. Opgeroepen op 5 10, 2020, van Wageningen University and Research: <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/livestock-research/show-wlr/Voorkom-oppervlakkige-afspoeling-naar-de-sloot.htm>
- Verweij, W., van der Wiele, J., van Moorselaar, I., & van der Grinten, E. (2010). *Impact of climate change on water quality in the Netherlands*. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Wade, A., Whitehead, P., Hornberger, G., & Snook, D. (2002). *On modelling the flow controls on macrophyte and epiphyte dynamics in a lowland permeable catchment: the River Kennet, southern England*. Verenigd Koninkrijk: Elsevier.
- Wageningen Environmental Research. (2016). *BOFEK2012 versie 2*. Opgeroepen op 5 10, 2020, van Nationaal Georegister: <https://www.nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/api/records/7e740af2-904f-4c88-b805-157268a28e86>
- Wageningen Environmental Research. (2020). *Waterwijzer Landbouw*. Opgeroepen op 2 4, 2020, van waterwijzerlandbouw: <https://waterwijzerlandbouw.wur.nl/>
- Waterschap Aa en Maas. (2019, 10 9). *Afspoeling buisdrainage*. 's-Hertogenbosch, Noord Brabant, Nederland: ArcGIS online.
- Waterschap Aa en Maas. (2020, 2 3). *Droogtemaatregelen blijven van kracht voor werkgebied Aa en Maas*. Opgeroepen op 5 10, 2020, van Waterschap Aa en Maas: <https://www.aaenmaas.nl/actueel/nieuws/2020/februari/droogtemaatregelen-blijven-kracht/>
- Waterschap Aa en Maas. (sd). *Vastgestelde Legger Oppervlaktewater*. Opgeroepen op 5 5, 2020, van Waterschap Aa en Maas: https://maps.aaenmaas.nl/portaal/legger_oppervlaktewater/
- Waterschap Rijn en IJssel. (2015, juli 14). *Wat is droogte?* Opgehaald van Waterschap Rijn en IJssel: <https://www.wrij.nl/thema/kennis-informatie/waterthema-0/klimaat/droogte/droogte/>
- Waterschap Vechtstromen. (2019, 6 28). *Update droogte*. Opgeroepen op 5 25, 2020, van Waterschap Vechtstromen: <https://www.vechtstromen.nl/@41348/update-droogte/>
- Werkgroep Handboek snijmaïs. (2018). *Handboek Snijmaïs*. Wageningen: Wageningen Universiteit.

- Wesselink, M., & Boone, P. (2020). *Maaien*. Opgeroepen op 05 04, 2020, van Waterschap Vallei en Veluwe: <https://www.vallei-veluwe.nl/actueel/actuele-thema/maaien/>
- Westerhoff, W. E. (2003, 3). *Formatie van Breda*. Opgeroepen op 5 5, 2020, van Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond: <https://www.dinoloket.nl/formatie-van-breda>
- Westerhoff, W. E. (2003, 3). *Formatie van Sterksel*. Opgeroepen op 3 2, 2020, van Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond: <https://www.dinoloket.nl/formatie-van-sterksel>
- Westerhoff, W. E. (2003, 3). *Kiezeloöliet Formatie*. Opgeroepen op 5 5, 2020, van Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond: <https://www.dinoloket.nl/kiezeloooliet-formatie>
- Westerhoff, W. E., & Weerts, H. J. (2003, 3). *Formatie van Beegden*. Opgeroepen op 3 2, 2020, van Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond: <https://www.dinoloket.nl/formatie-van-beegden>
- Westerhoff, W. E., & Weerts, H. J. (2003, 3). *Formatie van Waalre*. Opgeroepen op 5 5, 2020, van Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond: <https://www.dinoloket.nl/formatie-van-waalre>
- Westerhoff, W., & Weerts, H. (2003, 3). *Formatie van Waalre*. Opgeroepen op 3 20, 2020, van Data en Informatie van de Nederlands Ondergrond: <https://www.dinoloket.nl/formatie-van-waalre>
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). *Understanding the drought phenomenon: the role of definitions*. Nebraska: University of Nebraska.
- Winden, A. v. (2020, 04 26). *Einde droog weer in zicht; waterstanden gaan weer stijgen*. Opgehaald van Waterpeilen: <https://www.waterpeilen.nl/>
- Witte, J. (2018). *Handleiding WWN*. Amersfoort: STOWA.
- Wouters, J., Denys, L., & van den Borre, J. (2018). *Advies over droogte-indicatoren voor grondwaterafhankelijke vegetaties en stilstaande wateren met belangrijke natuurwaarden*. Antwerpen: Agentschap voor Natuur- en Bos.

Bijlage 0: Reflectie

In deze bijlage wordt gereflecteerd op dit onderzoek en de afstudeerstage. Voor de reflectie is gebruik gemaakt van de STAR-methode (Oosterhout, 2020). Onder de STAR-methode worden de situatie, de taken, de acties en de resultaten verstaan. Tevens wordt beschreven hoe in de toekomst met bepaalde situaties in het onderzoek om kan worden gegaan. Tenslotte wordt deze bijlage afgesloten met een persoonlijke reflectie van zowel Merel van den Berg als Brechtje Pieterse.

Situatie

Dit afstudeeronderzoek is uitgevoerd voor ingenieursbureau Kragten. Dit onderzoek is gemaakt door Merel van den Berg en Brechtje Pieterse als afstudeeronderzoek voor de opleiding HBO Land- en Watermanagement. Het onderzoek is gestart op maandag drie februari 2020 en eindigt op woensdag tien juni 2020. De eindpresentatie en verdediging van dit onderzoek zal plaatsvinden op donderdag vijftwintig juni 2020. In dit onderzoek is onderzocht welke maatregelen bijdragen aan het voorkomen en/of mitigeren van de effecten van droogte in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa. Gedurende het onderzoek zijn de projectteamleden intern begeleid bij de opdrachtgever door Caspar Cluitmans en extern begeleid vanuit de hogeschool door Anouk Berendsen-Sloot. Dit onderzoek is voornamelijk uitgevoerd de eerste zes weken op het kantoor van Kragten in 's-Hertogenbosch en daarna vanwege de coronamaatregelen thuis afgerond.

Taken

De taken zijn gedurende het hele afstudeeronderzoek gelijk verdeeld. De gebiedsinformatie in de gebiedsanalyse is per beekstelsysteem verdeeld over de twee projectteamleden. Ditzelfde geldt voor het gebruik van de WaterWijzers. Daaropvolgend zijn de hoofdstukken vier tot en met zeven zo verdeeld dat ieder evenveel bijdragen heeft geleverd aan het onderzoek.

Acties

Als een projectteamlid haar gevonden informatie volledig had opgeschreven en afgerond, controleerde het andere projectteamlid met een kritische blik of de paragraaf en het hoofdstuk overeenkwamen. Daarbij werd zowel gecontroleerd op Nederlands en op inhoud. Door middel van het geven van feedback mondeling en schriftelijk werd de informatie verbeterd. Als de projectteamleden samen niet uit bepaalde kwesties kwamen, namen zij contact op met de begeleider binnen Kragten.

Resultaten

Doordat de projectteamleden na week zes thuiswerkten, werden vragen besproken middels telefonisch contact of middels videobellen. Dit verliep niet altijd even snel doordat de projectteamleden eerst zelf onderwerpen uit wilden zoeken. Daarbij werd de begeleider vanuit Kragten pas ingeschakeld als de projectteamleden vastliepen. Door te videobellen met de begeleider kon het onderzoek weer doorgaan. Daarbij gaf de begeleider aan met feedback wat de verwachtingen waren vanuit Kragten binnen dit onderzoek. Zelf mochten de projectteamleden hun eigen draai geven aan het onderzoek. Door wekelijks contact te hebben met de begeleider is het onderzoek goed verlopen. Echter zijn wel vertragingen opgelopen binnen het onderzoek doordat het minder goed mogelijk was om op afstand geholpen te worden bij het oplossen van de problemen met SOBEK 2.

Toekomst

Als in de toekomst dit onderzoek opnieuw uitgevoerd wordt of verder wordt doorgegaan met dit onderzoek, dan kan tijd worden gewonnen door het eerder inschakelen van hulpmiddelen. Door eerder in contact te komen met de makers van de WaterWijzers kunnen sneller kaarten worden gemaakt.

Persoonlijke reflectie

Merel van den Berg:

Ik vond dat de taken goed verdeeld werden onder de twee projectteamleden. Daarbij hielden we elkaar met een kritische blik op wat in een paragraaf of hoofdstuk behoorde te staan. Echter een misverstand is in het begin van het onderzoek het niet duidelijk afbakenen van het onderzoek. Doordat de droogteproblematiek voor ons gedeeltelijk nieuw was, was het moeilijker in te schatten wat wel en wat niet onderzocht hoefde te worden om tot een onderbouwd eindresultaat te komen. Doordat wijzelf de afbakening niet goed helder hadden en erg enthousiast waren over het onderwerp, was het soms niet altijd duidelijk waar de grenzen lagen van het onderzoek. Hierdoor zijn wij met bepaalde hoofdstukken iets langer bezig geweest dan we hadden gedacht. Voornamelijk kwamen wij er later achter, nadat wij een heel apart “voor”onderzoek hadden gedaan met betrekking tot de (geo)hydrologie van beide beeksystemen, dat wij van dit “voor”onderzoek niet alle aspecten nodig hadden om de droogteproblematiek waar te nemen. Daarom hebben wij het “voor”onderzoek apart gehouden en zijn wij kritisch gaan kijken welke informatie daarvan benodigd was om te kunnen onderbouwen waarom welke maatregelen goed toepasbaar zijn binnen de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa.

Doordat wij na de zesde week thuis moesten werken vanwege COVID-19 is een tweede misverstand ontstaan omtrent de communicatie. Berichten werden bij beide projectteamleden anders geïnterpreteerd. Dit is helder uitgesproken door te (video)bellen.

Bij het samenwerken met Brechtje heb ik meer inzichten gekregen in welke rol ik aanneem binnen een onderzoek. Tevens heeft dit onderzoek mij meer geleerd over communicatie.

Ondanks sommige misverstanden waardoor de motivatie soms wat minder was, ben ik dankbaar dat ik de afgelopen paar maanden samen met Brechtje heb gewerkt aan dit onderzoek. Beide hebben we dingen van elkaar kunnen leren. Tevens ben ik trots dat ik samen met Brechtje dit onderzoek heb afgerond voor ingenieursbureau Kragten (waar ik met veel plezier stage heb gelopen) en voor Larenstein (waar ik vier jaar kennis heb opgedaan).

Brechtje Pieterse:

De samenwerking tijdens dit onderzoek is goed verlopen. We hebben de taken evenredig verdeeld en waar nodig elkaar aangevuld. Doordat we alleen de eerste zes weken fysiek samen hebben gewerkt is de communicatie niet altijd even goed gelopen. Hierdoor zijn we tegen misverstanden aangelopen die we misschien eerder hadden kunnen oplossen. Een onderdeel waar we tegen aan zijn gelopen is de afbakening van het project, door de grootte van het onderwerp en ons enthousiasme was het niet altijd even duidelijk waar de grenzen hadden liggen. Het samenwerken met Merel heeft mij veel geleerd over communicatie en het overbrengen van de juiste informatie op de juiste manier. Dit onderzoek heeft mij inzicht gegeven in mijn eigen vaardigheden en verbeterpunten. Voor mijn eigen ontwikkeling had voor het begin van dit onderzoek doelen opgesteld, waar ik dankzij de samenwerking met Merel dichtbij ben gekomen. Ondanks dat niet alles even soepel is gelopen ben ik dankbaar dat ik deze afgelopen maanden met Merel heb samengewerkt om een mooi product te leveren voor zowel Kragten als Larenstein.

Bijlage 1: Uitleg droogte

In deze bijlage wordt een nadere uitleg gegeven van de gebruikte definitie van droogte in dit onderzoek.

Bodemvochtdroogte

Bodemvochtdroogte is een tekort aan bodemvocht (meestal in de wortelzone), waardoor de toevoer van vocht naar vegetatie afneemt. Bodemvochtdroogte wordt ook wel landbouwdroogte genoemd, omdat deze sterk verband houdt met schade aan gewassen en mislukte oogsten. Een tekort aan bodemvocht heeft gevolgen voor onder andere natuurlijke ecosystemen, landbouw en infrastructuur (Wilhite & Glantz, 1985; van Loon, 2015; van den Eertwegh et al., 2019).

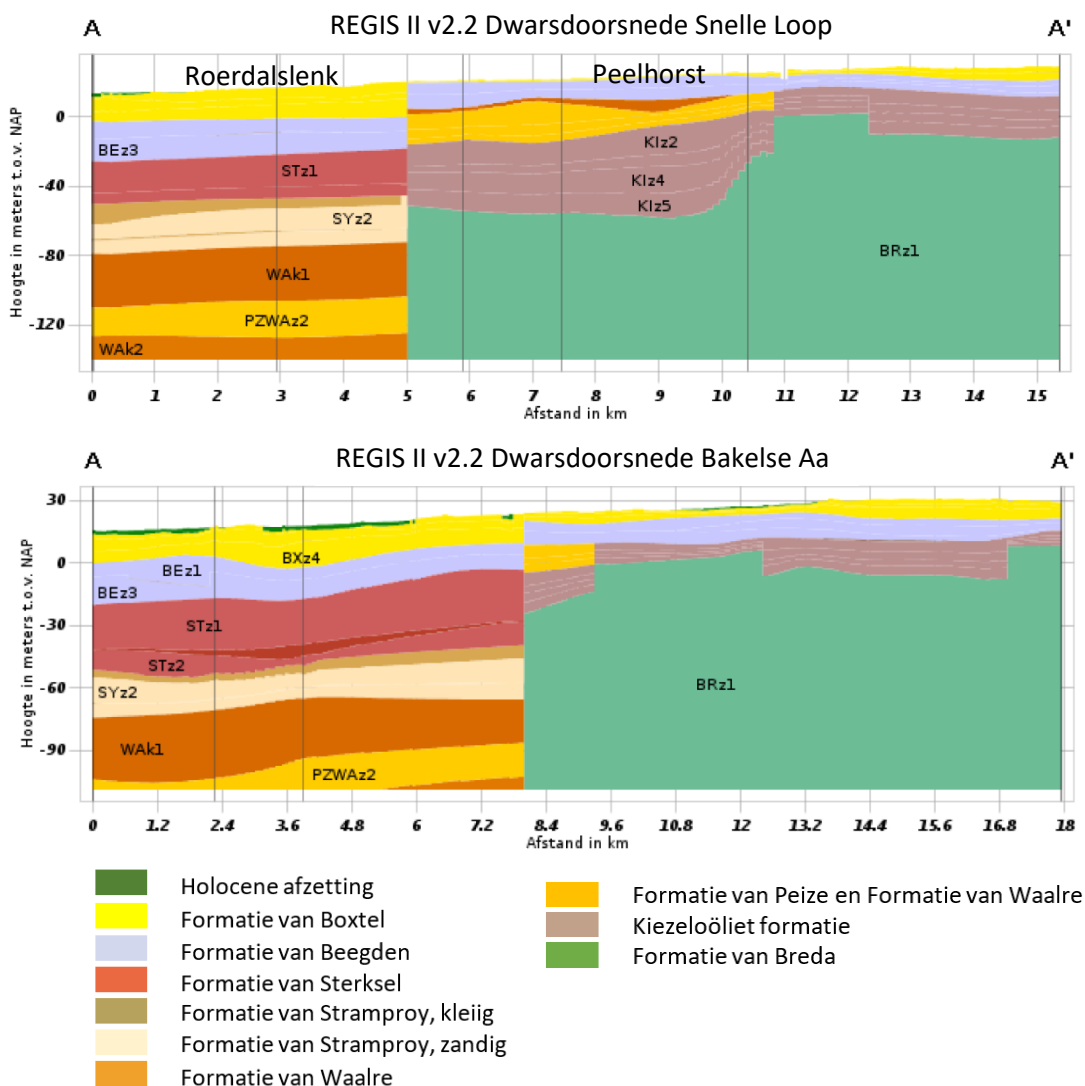
Hydrologische droogte

Hydrologische droogte wordt vaak beschouwd als een periode waarin de stroming onvoldoende is om het beheersysteem (landbouw en natuur) te voorzien van genoeg water (Wilhite & Glantz, 1985; van Loon, 2015; van den Eertwegh, et al., 2019). De frequentie en ernst van een hydrologische droogte is vaak gekoppeld aan de invloed van het stroomgebied. Hoe belangrijker het stroomgebied hoe ernstiger een hydrologische droogte is. Hydrologische droogte treedt minder direct op, dan bodemvochtdroogte. Zo kan een neerslagtekort leiden tot een snelle uitputting van bodemvocht dat voor landbouwers vrijwel onmiddellijk waarneembaar is, maar de impact van dit tekort op de reservoirniveaus heeft mogelijk gedurende vele maanden geen invloed op de productie van waterkracht of recreatief gebruik. Tevens wordt water in hydrologische opslagsystemen (bijvoorbeeld beken) vaak gebruikt voor meerdere en concurrerende doeleinden (bijvoorbeeld irrigatie, recreatie, navigatie, waterkracht of natuurhabitat), wat de volgorde en kwantificering van effecten verder compliceert. De concurrentie voor water in deze opslagsystemen neemt toe tijdens droogte en conflicten tussen watergebruikers nemen aanzienlijk toe (Wilhite & Glantz, 1985; van den Eertwegh et al., 2019).

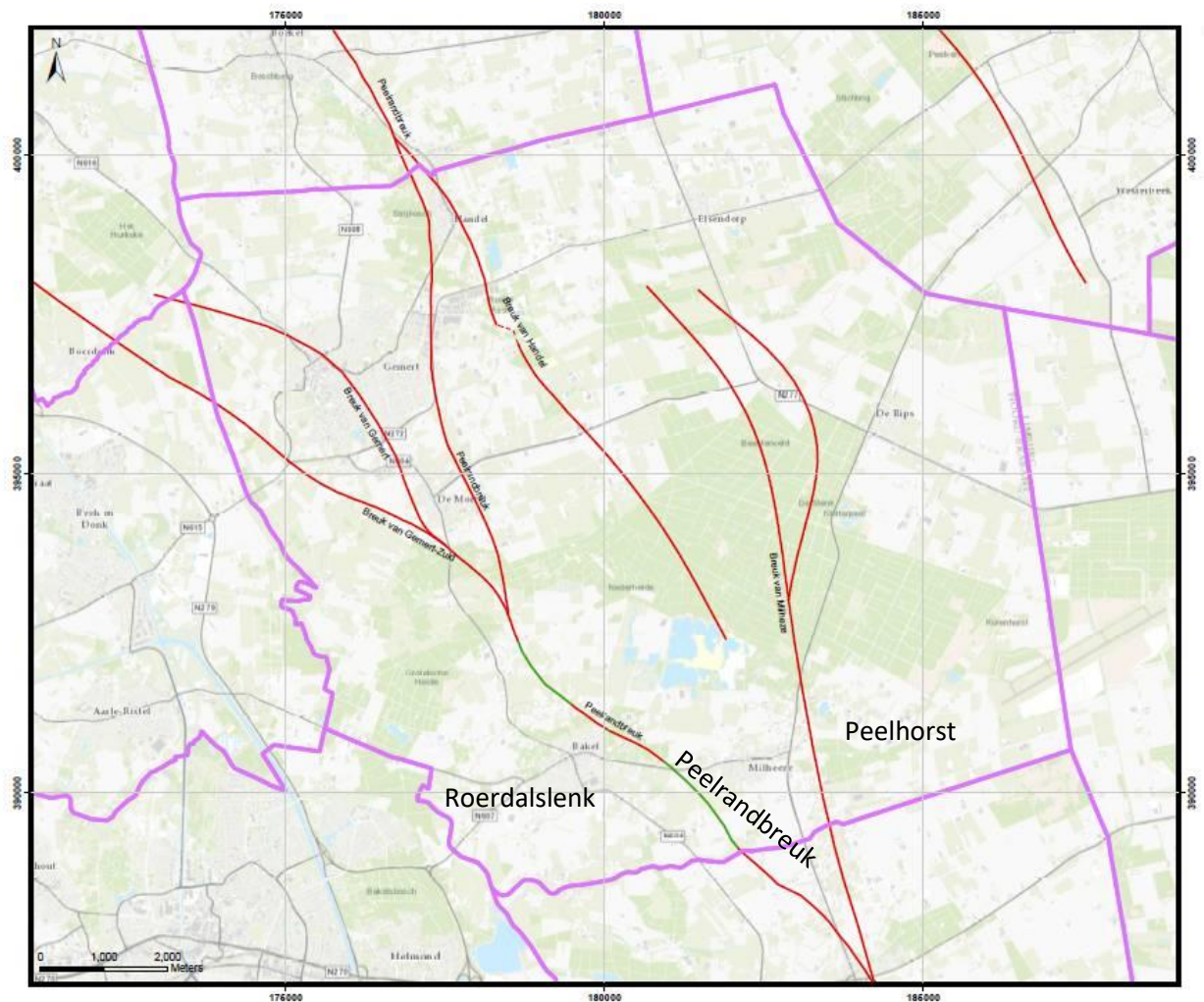
Bijlage 2: Vooronderzoek gebiedsanalyse

2.1. Geologie

De Snelle Loop en Bakelse Aa stromen over de Peelbreuk heen. Deze breuk vormt de grens tussen de Roerdalslenk, en de Peelhorst (Figuur 29). De Roerdalslenk is opgevuld met beekafzettingen en dekzanden. Deze afzettingen komen slechts plaatselijk of minder dik voor op de Peelhorst (Aardkundige waarden, 2009; Janssen, 2009). De breuk is duidelijk terug te zien in de dwarsdoorsneden van de twee beken (Figuur 28). Zichtbaar is dat afzettingen uit het Roerdalslenk in minder dikke mate, maar op dezelfde volgorde voorkomen op de Peelhorst. De bovenloop van de Snelle Loop en de bovenloop van de Kaweise Loop en de Vlier stromen op en over de Peelhorst.



Figuur 28: Dwarsdoorsnede geologie (Dinoloket, sd)



Figuur 29: Ligging Peelrandbreuk (TNO Geologische Dienst Nederland, 2014)

Roerdalslenk

Het freatisch pakket onder beide beeksystemen ligt tot ongeveer zestig meter diepte ten opzichte van NAP. Dit pakket wordt afgesloten door de formatie van Stramproy, eerste kleiige eenheid. Vervolgens begint het eerste watervoerend pakket tot ongeveer tachtig meter diepte ten opzichte van NAP. Het eerste watervoerend pakket wordt afgesloten door de formatie van Waalre, eerste kleiige eenheid. Dieper dan het eerste watervoerend pakket is niet gekeken in dit onderzoek.

Peelhorst

Voor de Peelhorst geldt dat de bovenste zestig meter van de Roerdalslenk in de eerste dertig meter voorkomt in de bodem. Vervolgens komt de Formatie van Peize en Formatie van Waalre en de Kiezeloöliet Formatie. De bovengenoemde formaties zijn goed doorlatend en worden afgesloten door een dik pakket van de formatie van Breda.

In de onderstaande tabel (Tabel 14) zijn de verschillende formaties kort toegelicht¹⁷. Tevens is per formatie de doorlatendheid aangegeven.

Tabel 14: Beschrijving formaties

Formatie	Bestaande uit	Doorlatendheid
Formatie van Boxtel	Fijn tot matig grof zand. Lokaal aanwezig: klei, leem en sporadisch grof grind	Goed doorlatend met lokaal slecht doorlatende lagen
Formatie van Beegden	Matig grof tot uiterst grof zand met fijn tot zeer grof grind	Goed doorlatend
Formatie van Sterksel	Matig grof tot grof zand, met grind	Goed doorlatend
Formatie van Stramproy, eerste kleiige eenheid	Matig tot grof zand	Slecht doorlatend
Formatie van Stramproy, zandige eenheid	Matig tot grof zand	Goed doorlatend
Formatie van Waalre, eerste kleiige eenheid	Uiterst fijn tot uiterst grof zand	Slecht doorlatend
Formatie van Peize en Formatie van Waalre	Matig tot uiterst grof zand	Goed doorlatend
Kiezeloöliet Formatie	Uiterst fijn tot uiterst grof zand	Goed doorlatend
Formatie van Breda	Zeer fijn tot matig fijn zand met sterk zandig tot matig siltige klei	Slecht doorlatend

¹⁷ Voor de toelichting van de formaties zijn de volgende bronnen gebruikt:
 Formatie van Boxtel: (Schokker, de Lang, Weerts, den Otter, & Passchier, 2005),
 Formatie van Beegden (Westerhoff & Weerts, Formatie van Beegden, 2003),
 Formatie van Sterksel (Westerhoff W. E., Formatie van Sterksel, 2003),
 Formatie van Stramproy (de Lang & Weerts, 2003),
 Formatie van Waalre (Westerhoff & Weerts, Formatie van Waalre, 2003),
 Formatie van Peize (Bosch, 2003),
 Kiezeloöliet Formatie (Westerhoff W. E., Kiezeloöliet Formatie, 2003);
 Formatie van Breda (Westerhoff W. E., Formatie van Breda, 2003)

2.2. Bodem

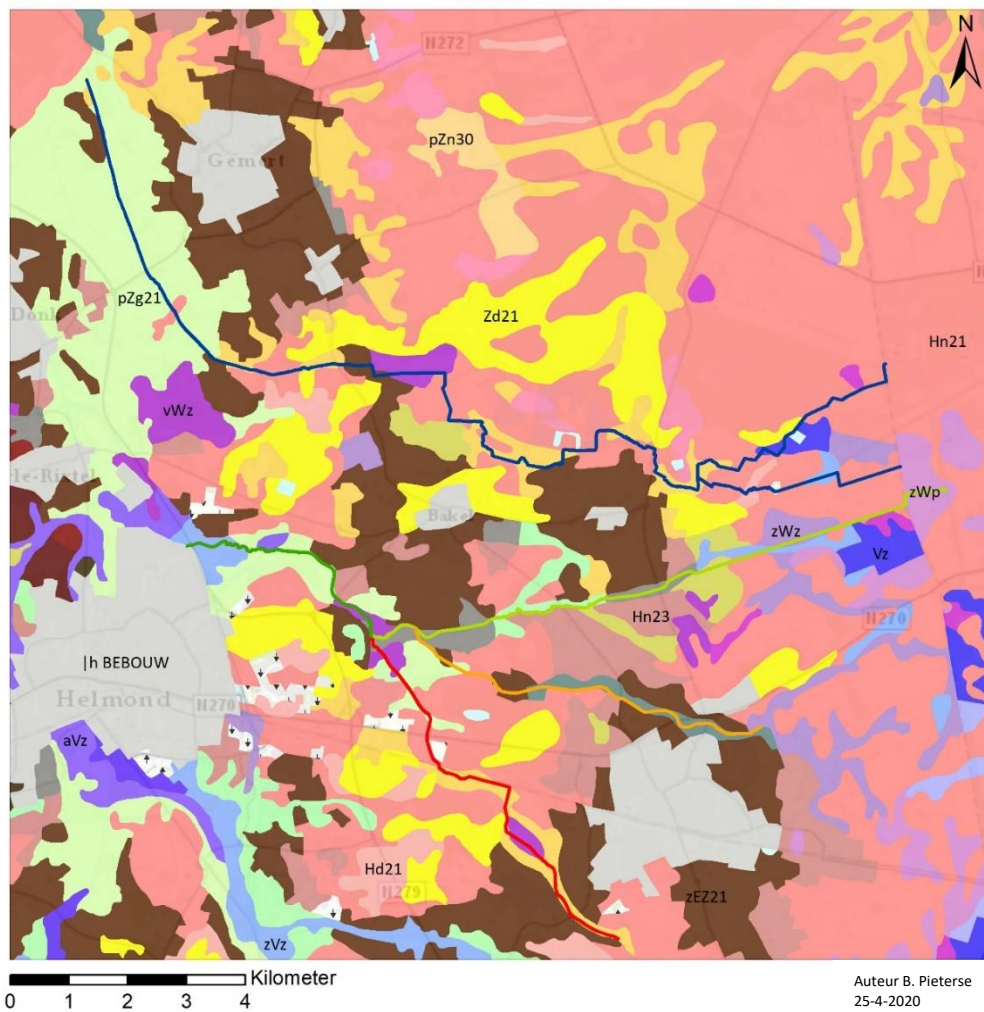
De beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa worden gekarakteriseerd door beekkeerdgronden. Deze gronden bestaan voornamelijk uit zand met een kleidek. Deze kleilagen zorgen voor een slecht doorlatende laag aan het oppervlak van het maaiveld. Onder het kleidek komt een goed doorlatend zanddek met lokale leemlagen voor. Andere aanwezige bodemsoorten in de beeksystemen bestaan voornamelijk uit zand met lokaal aanwezige leemlagen (Tabel 15). De verschillende gronden hebben met elkaar gemeen dat deze goed doorlatend zijn met lokaal slecht doorlatende lagen zoals een leem-, veen, of kleilaag. Door de doorlatendheid van de bodem kan neerslag goed infiltreren, waardoor minder maaiveldafvoer zal voorkomen.

De bodemkaart wordt weergegeven in Figuur 30.

Tabel 15: Bodemsoorten

Bodemsoort	Korte uitleg	Doorlatendheid
Beekeerdgronden	Zandgronden rijk aan lutum en hebben vaak een kleidek. In deze gronden komen lokaal leemlagen voor.	Slecht doorlatende bovengrond, goed doorlatende ondergrond
Hoge zwarte enkeerdgronden	Zandgronden met minerale eerdlaag. Door bemesting met plaggenmest hoger gelegen in het landschap.	Goed doorlatend
Veldpodzolgronden	Deze grond is gevormd onder sterke invloed van water, maar door ontwatering heeft het een diepe grondwaterstand.	Goed doorlatend
Duinvaaggronden	Droge zandgronden zonder minerale eerdlaag.	Goed doorlatend
Moerige eerdgronden	Deze grond is een overgang tussen een veengrond en minerale gronden. De bovengrond van deze soort bestaat uit veen.	Bovengrond is slecht doorlatend, ondergrond goed doorlatend
Gooreerdgronden	Deze grond vormt de overgang tussen de zwarte beekkeerdgronden en de podzolgronden. Deze grond komt voornamelijk voor tussen laaggelegen beekdalen en hooggelegen dekzanden. Lokaal kunnen leemlagen voorkomen.	Lokaal slecht doorlatend, grotendeels goed doorlatend

Bodemkaart



Auteur B. Pieterse
25-4-2020
Bron: PDOK

Legenda

Beeksystem Snelle Loop

Beeksystem Bakelse Aa

Bakelse Aa

Kweise Loop

De Vlier

De Oude Aa

Veengronden

aVc Madeveengronden op zeggeveen, rietzeggeveen of broekveen

aVz Madeveengronden op zand zonder humuspodzol, beginnend ondieper dan 120 cm

zVz Meerveengronden op zand zonder humuspodzol, beginnend ondieper dan 120 cm

zVp Meerveengronden op zand met humuspodzol, beginnend ondieper dan 120 cm

Vs Vlierveengronden op veenmosveen

Vz Vlierveengronden op zand zonder humuspodzol, beginnend ondieper dan 120 cm

Vp Vlierveengronden op zand met humuspodzol, beginnend ondieper dan 120 cm

Moerige gronden

vWp Moerige podzolgronden met een moerige bovengrond

zWp Moerige podzolgronden met een humushoudend zanddek en een moerige tussenlaag

zWz Moerige eerdgronden met een zanddek en een moerige tussenlaag op zand

vWz Moerige eerdgronden met een moerige bovengrond op zand

Humuspodzolgronden

Hn21 Veldpodzolgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand

Hn23 Veldpodzolgronden; lemig fijn zand

Hn30 Veldpodzolgronden; grof zand

cHn21 Laarpodzolgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand

Hd21 Haarpodzolgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand

Enkeerdgronden

EZg21 Lage enkeerdgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand

EZg23 Lage enkeerdgronden; lemig fijn zand

bEZ21 Hoge bruine enkeerdgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand

bEZ23 Hoge bruine enkeerdgronden; lemig fijn zand

zEZ21 Hoge zwarte enkeerdgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand

zEZ23 Hoge zwarte enkeerdgronden; lemig fijn zand

Kalkloze zandgronden

pZg21 Beekeerdgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand

pZg23 Beekeerdgronden; lemig fijn zand

pZn21 Gooreerdgronden; leemarm en zwak lemig fijn zand

pZn23 Gooreerdgronden; lemig fijn zand

pZn30 Gooreerdgronden; grof zand

Zn21 Vlakvaaggronden; leemarm en zwak lemig fijn zand

Zn23 Vlakvaaggronden; lemig fijn zand

Zd21 Duinvaaggronden; leemarm en zwak lemig fijn zand

Algemene onderscheidingen

Bebouwing

Water

* * * Opgehoogd of opgespoten

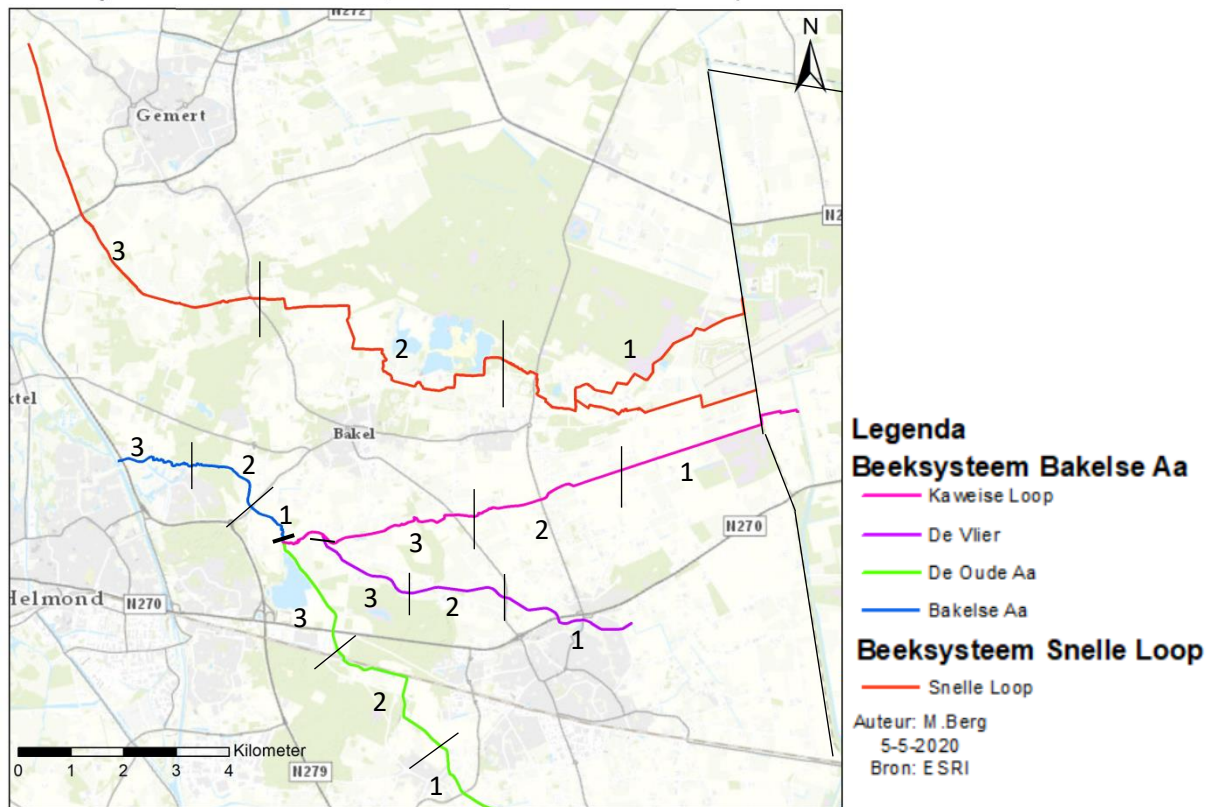
* * * Afgegraven

Figuur 30: Bodemkaart (PDOK, 2018)

2.3. Ligging boven-, midden- en benedenloop van de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa

In onderstaand figuur (Figuur 31) worden de boven-, de midden- en de benedenlopen van de beken de Snelle Loop, de Bakelse Aa, de Kawaise Loop, de Vlier en de Oude Aa weergegeven. Hierin is de bovenloop nummer 1, de middenloop nummer 2 en de benedenloop nummer 3.

Beeksystemen met boven-, midden- en benedenloop



Figuur 31: Beeksystemen met boven-, midden- en benedenloop

Bijlage 3: Meetlocaties grondwaterstanden

Snelle Loop

Acht grondwatermeetlocaties rondom de Snelle Loop zijn geraadpleegd en met elkaar vergeleken. In Figuur 32 worden de locaties van de grondwaterstandmetingen weergegeven.

Vanuit Grondwatertools zijn per meetlocatie grondwatergegevens opgeroepen. Deze gegevens zijn weergegeven in Tabel 16. In deze tabel wordt het maaiveld, de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), de diepte van het filter en de tijdsperiode waarin gemeten is, weergegeven. Uit onderstaande tabel kan worden opgemaakt dat de grondwaterstand rondom de Snelle Loop gemiddeld 1,30 meter onder maaiveld ligt.

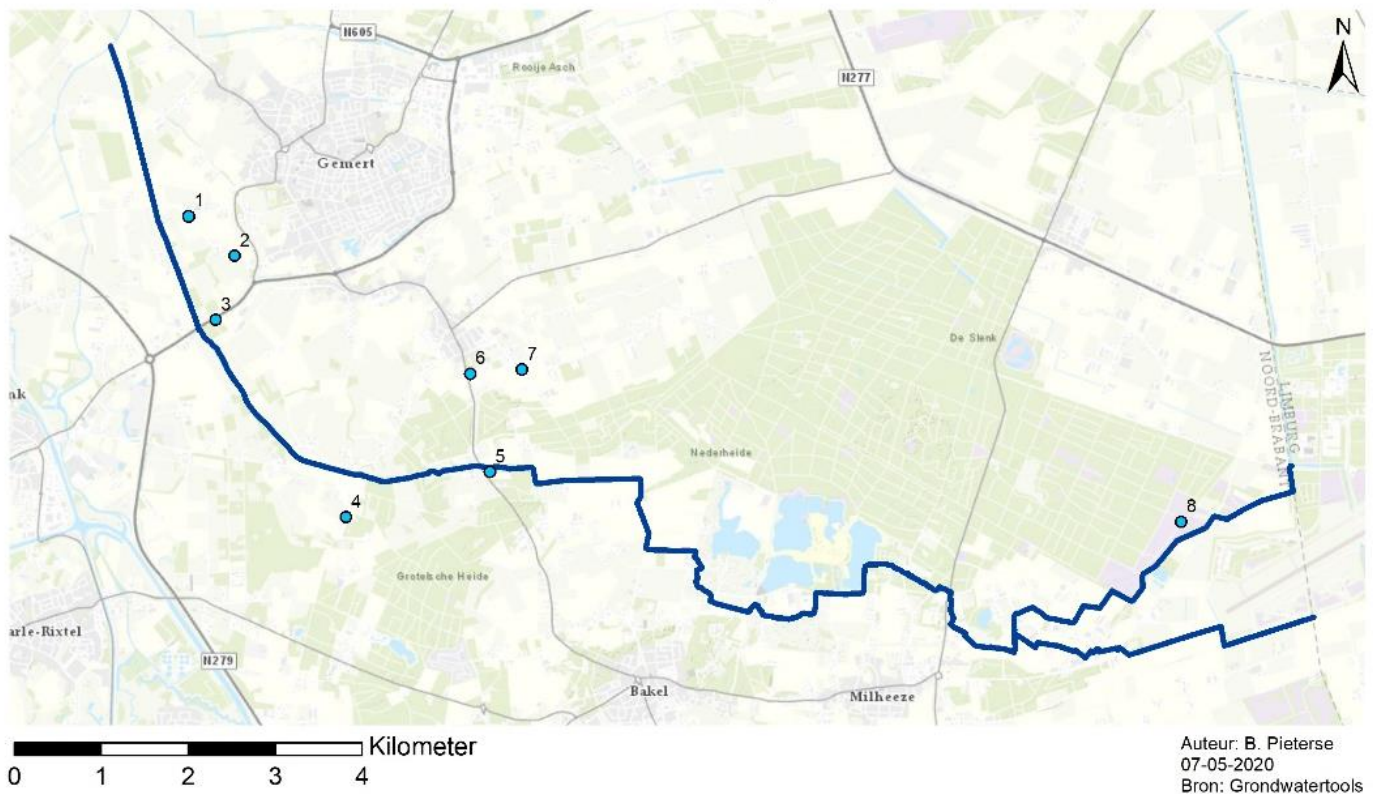
Tabel 16: Gemiddelde grondwaterstanden Snelle Loop (Grondwatertools, 2020)

Locatie	Putlocatie	Maaiveld (m t.o.v. NAP)	GHG (m t.o.v. NAP)	GLG (m t.o.v. NAP)	Bovenkant filter	Onderkant filter	Tijdsperiode
1	B51F1858	13,60	12,92	12,18	11,41	10,41	2011-2019
2	B51F1859	13,80	13,58	12,71	12,41	11,41	2011-2019
3	B51F0275	13,75	13,38	12,71	-5,08	-7,08	2011-2019*
4	B51F0226	16,50	15,81	14,67	12,73	11,73	1994-2002
5	B51F0096	18,80	16,46	15,37	-10,23	-11,23	2011-2019*
6	B51F1758	19,25	18,86	17,88	Onbekend	Onbekend	2011-2019
7	B51F1757	20,60	19,90	18,94	Onbekend	Onbekend	2011-2019
8	B52A0310	28,25	26,92	26,16	24,60	24,10	2012-2020

* Deze meetreeks is betrouwbaar tot 2016.

Meetlocatie 3 en 5 zijn uitgebreide metingen, maar door een storing in de metingen vanaf 2017 zijn de gegevens niet betrouwbaar. Daarom zijn deze meetreeksen gebruikt tot 2016. Het waterschap heeft op dezelfde locatie (als meetlocatie 3 en 5) metingen uitgevoerd. Van deze metingen is de grondwaterstand tussen 2017 en 2019 geanalyseerd.

Grondwatermeetpunten



Legenda

- Snelle Loop
- Grondwatermeetlocaties

Figuur 32: Grondwatermeetpunten rondom de Snelle Loop (Grondwatertools, 2020)

Bakelse Aa

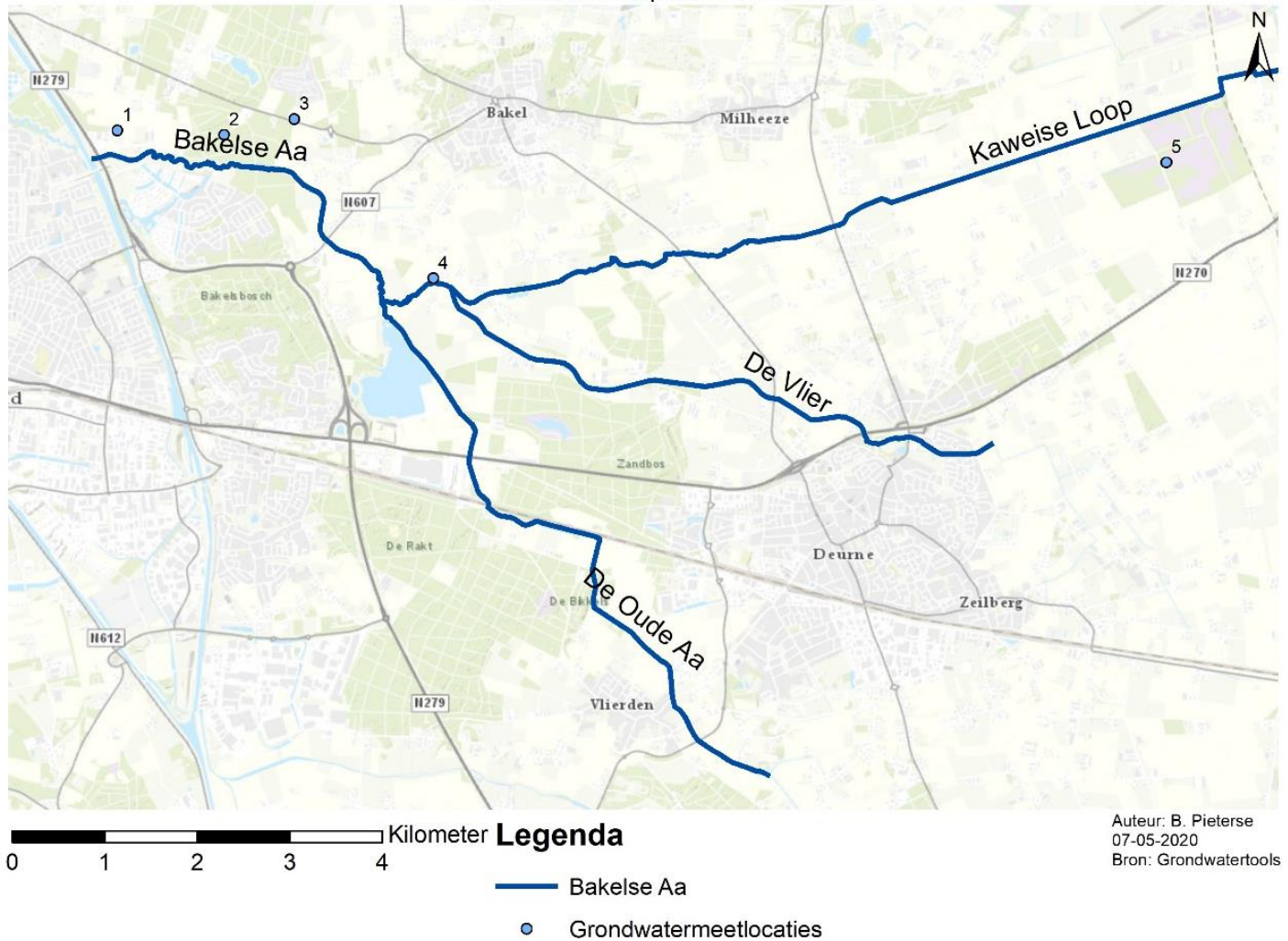
Voor de grondwaterstandanalyse van de Bakelse Aa zijn vijf grondwatermeetlocaties rondom het beekstelsysteem geraadpleegd. In Figuur 33 zijn de vijf locaties op een kaart weergegeven. De data is opgeroepen van Grondwatertools en vervolgens in de onderstaande tabel (Tabel 17) met elkaar vergeleken. Uit de analyse van de gemiddelde grondwaterstanden blijkt dat rondom het beekstelsysteem van de Bakelse Aa, de grondwaterstand gemiddeld 1,18 meter onder maaiveld ligt.

Tabel 17: Gemiddeld grondwaterstanden Bakelse Aa (Grondwatertools, 2020)

Locatie	Putlocatie	Maaiveld (m t.o.v. NAP)	GHG (m t.o.v. NAP)	GLG (m t.o.v. NAP)	Bovenkant filter (m t.o.v. NAP)	Onderkant filter (m t.o.v. NAP)	Tijdperiode
1	B51F0248	16,60	15,71	14,82	15,16	14,16	2011-2019
2	B51F0243	17,25	16,38	15,03	14,11	13,11	2011-2019*
3	B51F0247	18,50	17,14	16,00	15,24	13,24	2011-2019
4	B51F0051	19,20	18,24	17,27	-9,83	-10,81	2003-2011
5	B52A1488	27,10	26,84	26,25	25,18	24,18	2012-2018

*'Deze reeks is minder betrouwbaar tussen juli 2017 en april 2018, omdat in deze periode vrijwel tot geen metingen van beschikbaar zijn.

Grondwatermeetpunten Bakelse Aa



Figuur 33: Grondwatermeetpunten rondom de Bakelse Aa (Grondwatertools, 2020)

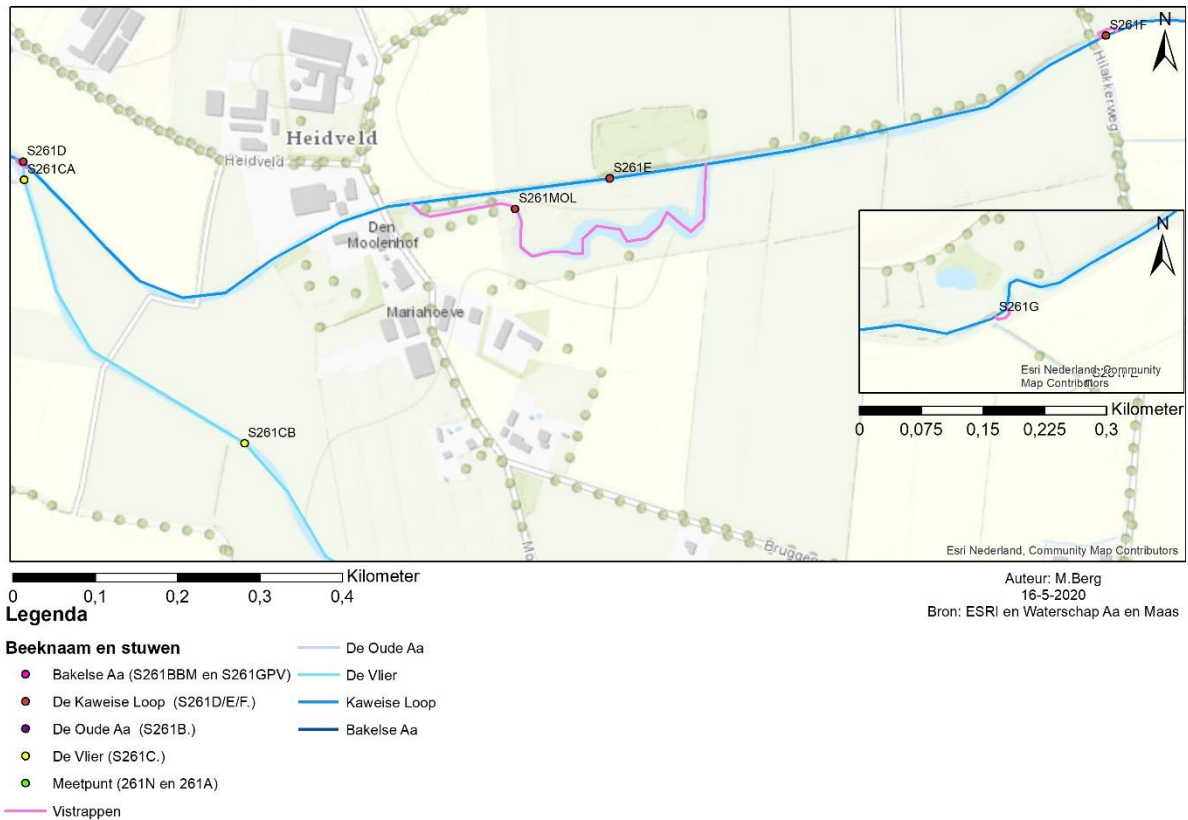
Bijlage 4: Vistrappen

In deze bijlage zijn de locaties van de vistrappen in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa weergegeven.



Figuur 34: Vistrappen Snelle Loop (Waterschap Aa en Maas, sd)

Locatie vistrappen Kawaise Loop, beekstelsysteem Bakelse Aa



Figuur 35: Vistrappen beekstelsysteem Bakelse Aa (Waterschap Aa en Maas, sd)

Bijlage 5: Onderbouwing WaterWijzer Natuur

WaterWijzer Natuur (WWN) is een model waarmee de natuur getoetst kan worden op de huidige en toekomstige situatie. In de WWN wordt gebruik gemaakt van standaard kaarten, die aangeleverd worden met het model. Dit betreft de volgende kaarten:

- Landelijk Grondgebruik Nederland (LGN6)
- Bodemkaart (1:50.000)
- Bodem Fysische Eenheden
- Klimaatdistricten

De bovengenoemde kaarten kunnen niet zomaar aangepast worden. Hierdoor is gerekend met LGN6 en is het landgebruik van de beeksystemen van de Snelle Loop en Bakelse Aa beschreven met LGN7. Hierdoor kunnen verschillen aanwezig zijn in het huidige landgebruik en het landgebruik waarmee het model heeft gerekend.

Om met de Waterwijzer Natuur te kunnen werken, moeten verschillende kaarten in ASCII-vorm worden ingeladen. Deze kaarten kunnen worden gemaakt met het programma ArcGIS (afkorting GIS). Het is van belang dat deze kaarten allemaal dezelfde afmeting hebben. Voor het draaien van de Waterwijzer Natuur zijn de volgende kaarten benodigd:

- Afbakening van het modelgebied
- Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand
- Gemiddeld Laagste Grondwaterstand
- Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand
- Gemiddelde Grondwaterstand
- Kwel en infiltratie
- Natuurdoeltype

De bovenstaande gegevens zijn verkregen vanuit verschillende bronnen. De grondwaterstanden komen vanuit Stowa (STOWA, 2010). De kwel en infiltratie gegevens zijn opgehaald vanuit het Nationaal Georegister (Nationaal Georegister, 2012). Tenslotte zijn de verschillende natuurdoeltypen opgehaald vanuit de beheertypenkaart van de Provincie Noord-Brabant (Provincie Noord-Brabant, 2020).

Ten eerste is een modelgebied gekozen waarin het stroomgebied van de beek ligt. Vervolgens is dit gebied afgemeten op precieze coördinaten. Het is namelijk de bedoeling dat de coördinaten een vermenigvuldigde zijn van vijftientig, om te kunnen werken met de Waterwijzer Natuur. Nadat dit polygon is gemaakt, is deze in ArcGIS geconverteerd naar een raster met een celgrootte van vijftientig. Tenslotte is het raster geconverteerd naar ASCII.

Vervolgens zijn de andere kaarten op het modelgebied geplakt om te zorgen dat alle kaarten hetzelfde formaat hebben met coördinaten welke een vermenigvuldigde zijn van vijftientig. Ook deze kaarten hebben allemaal een celgrootte van vijftientig. Nadat ze geplakt zijn en de juiste formaat en celgrootte hebben, zijn de grondwaterkaarten geconverteerd naar ASCII.

De kwel en infiltratie en natuurdoeltype kaarten hadden eerst nog een aanpassing nodig voordat deze in de Waterwijzer Natuur geladen konden worden. De gebruikte kwel en infiltratie kaart (van de Provincie Noord-Brabant) heeft geen waarden, maar nummers nul tot zes welke corresponderen met waarden. Nadat de juiste waarden aan de kaart zijn gekoppeld is de kwel en infiltratiekaart geconverteerd naar ASCII.

Om in de Waterwijzer Natuur te passen moeten de verschillende natuurdoeltype in de natuurdoeltypekaart, elk een nummer hebben. Daarom is in ArcGIS per natuurdoeltype een nummer toegewezen. Vervolgens is de kaart geconverteerd naar ASCII. De Waterwijzer Natuur heeft een legenda nodig om de natuurdoeltype nummers te kunnen lezen, daarom is een csv bestand gemaakt waarin het nummer en corresponderende natuurdoeltype gekoppeld zijn.

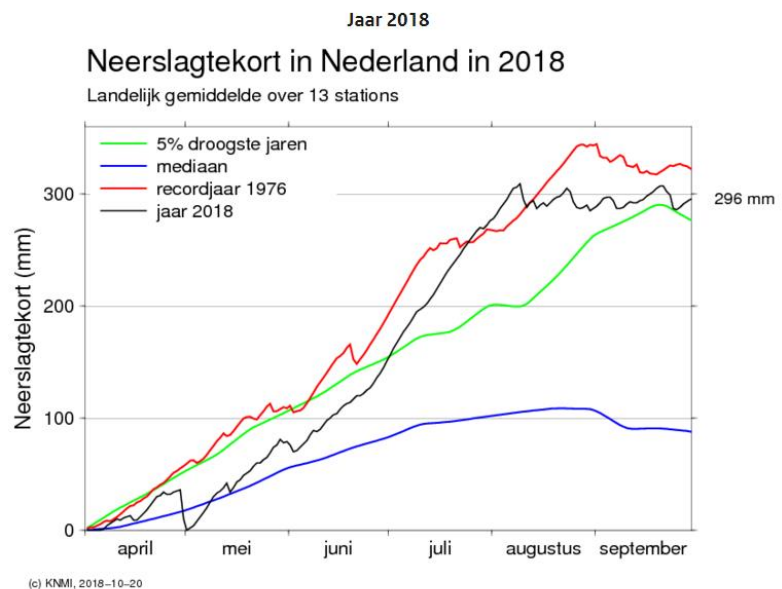
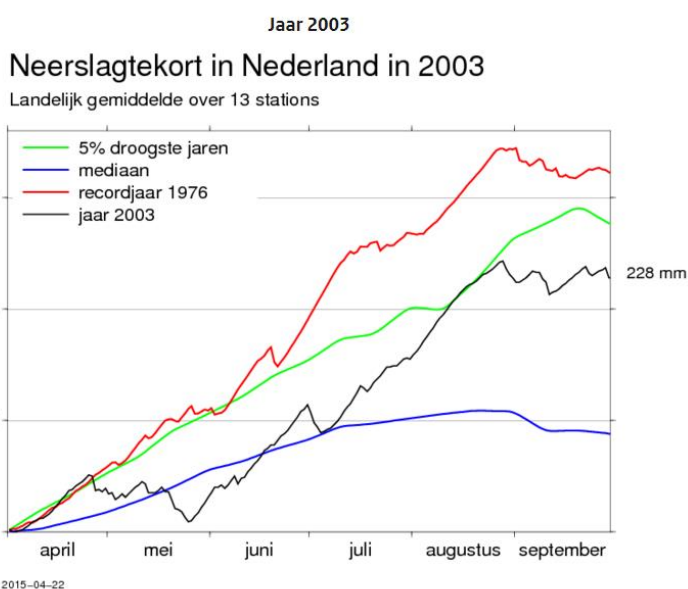
Met alle kaarten in ASCII-vorm kan vervolgens gewerkt worden met de Waterwijzer Natuur. Eerst controleert de Waterwijzer of de ingevoerde kaarten voldoen aan de gestelde eisen. Vervolgens is de Waterwijzer doorgerekend met een referentiescenario, dit scenario omvat het huidige klimaat.

Bijlage 6: Analyse droogte 2003 en 2018

In deze bijlage is de droogte uit 2003 vergeleken met de droogte uit 2018.

Hieronder in Figuur 36 is het neerslagtekort van 2003 (links) en 2018 (rechts) weergegeven. Zichtbaar is dat het jaar 2003 begon met hetzelfde neerslagtekort als in 1976 en dat het tekort daarna voornamelijk tussen de mediaan en de vijf procent droogste jaren bleef. Dit verschilt met 2018, in dit jaar begon het neerslagtekort rond de mediaan en is vervolgens alleen maar gestegen. Vanaf midden juni 2018 kwam het neerslagtekort boven de vijf procent droogste jaren en in augustus kwam het neerslagtekort hoger dan in 1976. Het neerslagtekort is in de droogteperiode van 2018 na juni niet onder de vijf procent droogste jaren gedaald.

In 2018 was het neerslagtekort groter dan in 2003, hierdoor kunnen de resultaten van de WaterWijzer Landbouw niet helemaal overeenkomen met de werkelijkheid.



Figuur 36: Neerslagtekort 2003 en 2018 (Koninklijk Meteorologisch Instituut Nederland, 2020)

Bijlage 7: Analyse WaterWijzer Landbouw

In deze bijlage zijn de resultaten van de verschillende scenario's van de WaterWijzer Landbouw, in de beeksystemen van de Snelle Loop en de Bakelse Aa, uitgewerkt.

Aan de hand van de WaterWijzer Landbouw kan onder andere de droogtestress van een gebied worden bepaald. De hoeveelheid droogtestress hangt af van de grondwaterstand, bodemsoort en van de gewassoort. De WaterWijzer Landbouw werkt met gewasnummers waaronder gewassoorten behoren (Tabel 18).

Tabel 18: Gewassoorten WaterWijzer Landbouw

Gewas nummer	Gewassoort
1	Gras (maaien)
5	Gras (beweiding)
6	Maïs
7	Wintertarwe
9	Aardappel
12	Suikerbiet
21	Bloembollen

Vanuit de WaterWijzer Landbouw is gewerkt met drie scenario's: een nat jaar (1998), een droog jaar (2003) en een gemiddeld jaar. Vanuit het model wordt per perceel berekend of en hoeveel droogtestress plaatsvindt. In de twee onderstaande tabellen (Tabel 19 en Tabel 20) zijn de analyses van de drie jaren weergegeven per beekstelsysteem. Deze analyse weergeeft de percelen welke veertig procent of meer droogtestress ervaren.

Tabel 19: Analyse nat, droog en gemiddeld jaar voor beekstelsysteem van de Snelle Loop

Snelle Loop	Gewas	1	5	6	7	9	12	21	Totaal aantal percelen
1998	Aantal percelen			18			5		23
2003		68	2	108	2	11	10	6	207
Gemiddeld		6		54	2	5	5	1	73

Tabel 20: Analyse nat, droog en gemiddeld jaar voor beekstelsysteem van de Bakelse Aa

Bakelse Aa	Gewas	1	5	6	7	9	12	21	Totaal aantal percelen
1998	Aantal percelen			2			2		4
2003		27		93	2	6	8	9	145
Gemiddeld				42	2	1	2	2	49

Uit deze analyses blijkt dat tijdens een gemiddeld jaar rondom de Snelle Loop 73 percelen droogtestress ondervinden en rond het beekstelsysteem van de Bakelse Aa 49 percelen. Het verschil in droogtestress wordt veroorzaakt door de gewassoort die geteeld wordt. De gewassoort die de meeste droogtestress ondervindt is maïs. Maïs wordt het meest geteeld rondom de Snelle Loop. Tevens laat de analyse een groot verschil zien tussen een gemiddeld en een droog jaar. Gewassen welke tijdens een gemiddeld jaar geen droogtestress ondervinden, hebben nu wel last van droogtestress. Het verschil in percelen die droogtestress ondervinden tijdens een droog jaar ten opzichte van een gemiddeld jaar is ongeveer drie keer zo groot.

Bijlage 8: Onderbouwing WaterWijzer Landbouw

De Waterwijzer Landbouw werkt in tegenstelling met de Waterwijzer Natuur maar met één input. Deze input is een shapefile gecreëerd in ArcGIS. Hoewel dit maar één kaart betreft, bevat deze kaart per perceel data op de volgende gebieden:

- Bodem
- Gewas
- Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand
- Gemiddeld Laagste Grondwaterstand
- Weerstation
- Zoutconcentratie

Bodem

Voor de bodemdata is gebruik gemaakt van de bodemfysische eenhedenkaart (ook wel BOFEK2012 genoemd) (Wageningen Environmental Research, 2016). Deze kaart bevat de bodemfysische eenheden waarin onderscheid gemaakt wordt in veen-, moerige-, zand-, klei- en leemgronden. Hierin krijgen de verschillende bodems een code toegewezen die de Waterwijzer Landbouw kan uitlezen.

Gewas

Voor de gewassen is gebruik gemaakt van de basisregistratiegewaspercelen (BRPG) (PDOK, sd). De percelen zijn gebruikt om de data van de andere kaarten samen te voegen in één shapefile. De BRPG heeft per perceel een gewas toegewezen gekregen, hierbij is per gewas een nummer toegewezen aan de hand van de Waterwijzer Landbouw handleiding.

Gemiddeld hoogste/laagste grondwaterstand

Voor de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand is gebruik gemaakt van dezelfde data als voor de Waterwijzer Natuur (STOWA, 2010). Dezelfde data is nu alleen als tabel gekoppeld aan een shapefile in plaats van geconverteerd naar een raster (ascii) file.

Weerstation

De Waterwijzer Landbouw werkt met neerslag om berekeningen te kunnen maken voor verschillende scenario's voor opbrengstderving. Hiervoor is het belangrijk om het dichtstbijzijnde weerstation te selecteren. De Waterwijzer Landbouw werkt met vijf KNMI hoofd-weerstations; De Kooy, De Bilt, Eelde, Vlissingen en Maastricht. Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van weerstation Maastricht, dit station ligt het dichtstbij zowel de Snelle Loop als de Bakelse Aa.

Zoutconcentratie

In dit onderzoek is niet gebruik gemaakt van de zoutconcentratie. In de data voor zoutconcentratie is -99 gezet, om zo voor de Waterwijzer Landbouw aan te duiden dat hiermee niet wordt gewerkt. Hiermee wordt niet gewerkt in dit onderzoek vanwege een gebrek aan gegevens op dit gebied.

De bovenstaande data is aan de hand van de BRPG aan elkaar gekoppeld en in één shapefile gezet. In deze shapefile bevat elk perceel data van de onderliggende bodem, het geteelde gewas, de GLG en de GHG en het weerstation. Dit bestand is in de Waterwijzer Landbouw geladen waarin vervolgens is gerekend met een gemiddeld jaar (de Waterwijzer rekent met de jaren 1981-2010), een nat jaar en een droog jaar. Vanwege het tijdsbestek waarin de Waterwijzer Landbouw rekent zijn recente droge en natte jaren niet berekend. In dit onderzoek is het jaar 1998 genomen voor een nat jaar en 2003 voor een droog jaar.

Bijlage 9: Maatregelen

In deze bijlage worden de verschillende maatregelen uit hoofdstuk 5 uitgelegd. De maatregelen zijn ingedeeld in twee categorieën: inrichtings- en beheermaatregelen. In totaal zijn zeven hoofdmaatregelen samengesteld, sommige hoofdmaatregelen zijn opgeemaakt uit sub-maatregelen. Per maatregel is de werking en de voor- en nadelen uitgewerkt.

9.1. Inrichtingsmaatregelen

Maatregel 1: Waterbergend vermogen in de bodem verhogen in het stroomgebied van de beek

Aanpassen landgebruikstypen

Binnen een beekstelsysteem kunnen aanpassingen plaatsvinden in het landgebruik, waardoor meer percelen en gebieden gecreëerd kunnen worden voor het opvangen en infiltreren van water. Deze maatregel is duurzaam door het opvangen en bergen van gebiedseigen water en het laten infiltreren hiervan. Daarbij moet gekeken worden uit welke lagen de ondergrond bestaat, hoe diep het grondwater zit en of het opgevangen water snel en gemakkelijk kan infiltreren in de bodem. Het is namelijk een voorwaarde dat het regenwater makkelijk kan infiltreren, zodat niet veel van het 'extra' opgevangen water verdampt en het bodemvochtgehalte wordt aangevuld (Beleidsstafel Droogte, 2019). De verdamping moet zo laag mogelijk zijn en de infiltratiecapaciteit zo hoog mogelijk om deze maatregel met veel efficiëntie toe te kunnen passen. Met het wisselen van het landgebruik kan gedacht worden aan het omzetten van voormalige akkerbouwgronden naar agrarisch gras (waar vee op kan grazen of dat gebruikt wordt om te maaien). Een andere mogelijkheid is het veranderen van landbouw in natuur om de sponswerking van het beekstelsysteem terug te brengen.

Om bij te dragen aan het klimaat adaptief en duurzaam inrichten van landbouwgronden wordt onderzoek gedaan naar verschillende teeltkeuzes voor grondeigenaren. Dit is echter moeilijker te bepalen omdat vegetatie niet altijd direct reageert op droogte, maar juist na-ijlen (Beleidsstafel Droogte, 2019; van den Eertwegh et al., 2019). In de toekomst kan met de indicatoren, vocht, voedselrijkdom, zuurgraad en zout bepaald worden welke teeltkeuzes verandert kunnen worden voor een zo optimaal mogelijk watergebruik (van den Eertwegh et al., 2019).

Van weilanden kunnen retentiegebieden worden gemaakt, voor het verwerken van een piekbui. Tegelijkertijd kan in deze retentiegebieden het overtollige water worden geïnfiltreerd in de bodem, in plaats van het afvoeren van dit overtollige water. Door het hoger instellen van het oppervlaktewater rond april, kan deze aanvulling zorgen voor een hoger grondwaterniveau. Door dit hoge grondwaterniveau kan bij een natte april maand het land verzadigd zijn met regenwater, waardoor meer inundaties optreden. Dit effect moet goed onderzocht worden bij de herinrichting van het landelijk gebied. Een voorbeeld kan zijn het aanvullen van het grondwater op hogere gebieden in het landschap, waardoor het landschap vernat wordt. Dan kunnen deze hoge grondwaterstanden in de droge periode wat zakken en stromen naar de lageregelegen delen in het landschap (Winden, 2020).

Beoogd effect: Het optimaal inrichten van het beekstelsysteem om water langer vast te houden en het water de tijd te geven om te infiltreren in de bodem. Deze veranderingen moeten zorgen voor een robuust beekstelsysteem (van den Eertwegh et al., 2019).

Voordelen:

- Hoger bodemvochtpercentage;
- Water wordt in het gebied geborgen;
- Robuust beekstelsysteem wat zowel om kan gaan met droogte als met wateroverlast.

Nadelen:

- Agrariërs moeten van inrichting veranderen door bijvoorbeeld over te stappen naar agrarisch gras in plaats van akkerbouw;
- Andere gewassen en andere gewasopbrengsten, waardoor agrariërs andere materialen moeten aanschaffen om deze gewassen te kunnen oogsten en waardoor agrariërs andere inkomsten hebben;
- Eventueel moeten percelen worden opgekocht.

Het verminderen van bodemverdichting

Het verminderen van bodemverdichting door:

- Het gebruiken van vaste rijpaden op landbouwgronden;
- Door het land minder te bewerken en om te spitten;
- Door het verminderen van de bandenspanning;
- Door het vergroten van het oppervlak van de band.

Hierdoor zal de bodem niet verder verdicht worden, waardoor meer water op kan worden geslagen in de bodem. Deze maatregel zorgt voor een verbetering van de bodemstructuur. (Commissie Bemesting Akkerbouw en Vollegrondsgroententeelt, 2020; van Wijk, 2019; de Lijster et al., 2016).

Beoogd effect: Verbetering van de infiltratiecapaciteit.

Voordelen:

- Afname in de afvoer van gebiedseigen water;
- Vergroot de infiltratiecapaciteit van de bodem;
- Grondwateraanvulling.

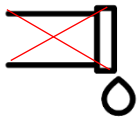
Nadelen:

- Maatregel kan alleen uitgevoerd worden in samenwerking met agrariërs;
- Als de ondergrond van oorsprong een verdichte bodem heeft (de bodem zet zich niet verder uit als gevolg van het gebruikte agrarisch materieel), dan sorteert deze maatregel geen effect.



Maatregel 2: Veranderen van de afvoerdynamiek en de grondwateraanvulling

Verwijderen van buisdrainage



Verwijderen van buisdrainage zorgt ervoor dat water minder snel wordt afgevoerd. Buisdrainage zorgt in de huidige status bij een perceel met een ondoorlatende ondergrond of hoge grondwaterstanden dat het overtollige regenwater afgevoerd wordt naar de watergangen rondom het perceel. Buisdrainage wordt toegepast voor een optimalere opbrengst van gewassen op plaatsen waar de omstandigheden van de grond minder optimaal zijn. Door het verwijderen van buisdrainage dient het landgebruik eventueel te veranderen, omdat er meer inundatie zal optreden op het betreffende perceel (Ontwikkeling Beheer en Natuurkwaliteit; Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren, 2017). Deze maatregel brengt de grondwaterstand terug naar het originele niveau, hierdoor komt het originele eco-hydrologisch systeem terug.

Beoogd effect: Water heeft meer tijd om te infiltreren in de ondergrond om zo het freatisch grondwater aan te vullen (Ontwikkeling Beheer en Natuurkwaliteit; Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren, 2017).

Voordelen:

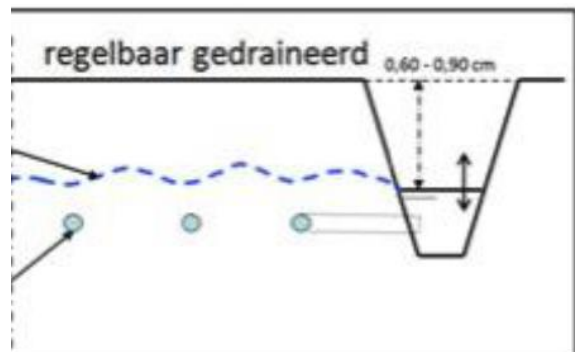
- Verbetering hydrologisch systeem en terugbrengen van de originele habitat;
- Natuurlijke kwelstroom komt meer tot zijn recht;
- Water kan infiltreren in de ondergrond.

Nadelen:

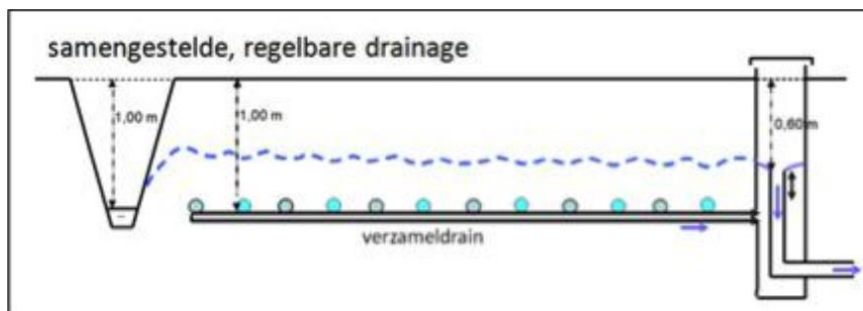
- Treedt vernatting op door het stijgen van de aangevulde grondwaterstanden;
- Afwaterings-/ ontwateringsstelsel dient aangepast te worden, hierdoor dienen peilbesluiten aangepast te worden. Hierdoor kan de ontwatering van percelen anders zijn waardoor andere gewassen verbouwd moeten worden.

Peilgestuurde/ regelbare drainage (PGD/ SPGD)

Peilgestuurde/ regelbare drainage zorgt ervoor dat water niet meteen wordt afgevoerd, maar deels vastgehouden wordt in de bodem. De drainagebuizen monden uit onder water in een sloot of beek waarvan het oppervlakte waterpeil geregeld kan worden met een stuw (Figuur 37). Of de buizen monden uit in een verzameldrain die middels het peil in een regelput kan worden gereguleerd (Figuur 38). Deze laatste manier wordt ook wel samengestelde peilgestuurde drainage (SPGD) genoemd (Schaap & van Essen, 2013; STOWA, 2018).



Figuur 37: Regelbare drainage (STOWA, 2018)



Figuur 38: Samengestelde peilgestuurde drainage (STOWA, 2018)

Wanneer SPGD al aanwezig is op een landbouwperceel zou dit omgezet kunnen worden in subirrigatie. Subirrigatie is omgekeerde drainage, in plaats van water afvoeren wordt water toegevoegd aan het systeem (van Zandvoort, 2018). Subirrigatie is een nog niet ontwikkelde maatregel waarvan de precieze werking nog niet van bekend is.

Beoogd effect: Verblijftijd van grondwater in het bodemprofiel wordt verlengd.

Voordelen:

- Toename in denitrificatie zodat de uitspoeling van stikstof uit oppervlakte- en grondwater afneemt;
- Verhoogde gewasproductiviteit;
- Langere berging van water in de bodem;
- Het water wordt minder snel afgevoerd naar de beek.

Nadelen:

- Niet geschikt voor sterk leemhoudende gronden, sommige slecht doorlatende veenbodems en kleigronden (Schaap & van Essen, 2013);
- Minder effectief op hogere zandgronden, waar geen wateraanvoer mogelijk is of waar kwel voorkomt (Schaap & van Essen, 2013).

Maatregel 3: Dood hout aanbrengen/ laten liggen

Door het aanbrengen en/of laten liggen van dood hout in het beekprofiel, ontstaan natuurlijke beekstromen met kleine watergangen binnen de hoofdwatergang (Verdonschot, van der Wal, & van Weeren, 2011; Verdonschot R. , 2019). In de beek ontstaan door het inbrengen van dood hout, verschillende stroomsnelheden en stromingen. Hierdoor ontstaan verscheidene habitattypen. Deze maatregel vergroot de biodiversiteit in het beeksysteem. Bij deze maatregel moet rekening gehouden worden opstuwing en wateroverlast. Voor het op maat maken van de maatregel per beeksysteem, wordt gekeken wat de effecten zijn van het aanpassen van het beek dwarsprofiel en de hoogte en breedte van de houtpakketten (STOWA, 2019).

Beoogd effect: De beek blijft langer watervoerend.

Periode van maatregel nemen: Voor en tijdens een droge periode.

Voordelen:

- Goed voor de biodiversiteit;
- Stroomsnelheid variatie;
- Zorgt voor waterretentie;
- Verminderd zandtransport en insnijding;
- Beekbodem wordt verhoogd.

Nadelen:

- Inundatie treedt sneller op waardoor wateroverlast eerder ervaren kan worden;
- Vaker baggeren door meer sedimentatie, om dichtslibben van de beek te voorkomen.

Maatregel 4: Aanpassen beekprofiel

Verbreden en verondiepen van een beekprofiel

Verondiepen van de hoofdwatgang in de beek zorgt voor het langzamer stromen van de beek en een vertraagde afvoer. Hierdoor blijft het water langer in het gebied en kan het infiltreren in de ondergrond. Het verondiepen van de beek wordt gedaan door het aanbrengen van zandsuppletie. Deze zandsuppletie kan gehaald worden van de omliggende percelen welke afgegraven worden voor het aanbrengen van een accoladeprofiel. Door het gebruik van gebiedseigen grond is dit een duurzame maatregel.

Door het verbreden van de watgang wordt gezorgd voor het minder steil maken van de oevers. Dit kan gedaan worden door het aanleggen van een accoladeprofiel in het beekprofiel. Dit is beter voor het ecologische systeem en dit draagt bij aan de duurzaamheid van de maatregel, omdat meerdere habitattypen gecreëerd kunnen worden met verschillende laagtes en waterstanden. Dit zorgt ervoor dat de beek een natuurlijke uitstraling heeft en dat in het beekprofiel minder erosie optreedt, door de lagere stroomsnelheden (Alterra, 2015) (Ontwikkeling Beheer en Natuurkwaliteit; Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren, 2017).

Beoogd effect: Piekafvoeren verminderen (afvoer verminderd en constante doorstroom) en vermindering van insnijden van de beek. Tevens neemt hierdoor de stroomsnelheid af in de beek en de afwatering van het grondwater naar de diepere ondergrond neemt af (Minder drainerende werking).

Voordelen:

- Vertraagde afvoer;
- Constante doorstroom van de beek;
- Vermindering van insnijden van de beek;
- Meer water beschikbaar in de bovenste lagen van de ondergrond.

Nadelen:

- Bij een klein beekprofiel is de kans op inundatie van omliggende percelen groter, tijdens een piekbui;
- Grondwaterstanden zullen stijgen, waardoor de omgeving rondom de beek zal vernatten;
- Door de lagere stroomsnelheid vindt meer sedimentatie plaats in de beek, hierdoor hopen sedimenten zich meer op in het verkleinde en verondiepte beekprofiel. Hierdoor moet vaker gebaggerd worden, om de beek niet te laten dichtslibben;



Meanderen

Veel beken in Nederland zijn of recht aangelegd of zijn rechtgetrokken. De beken zijn ingericht om water zo snel mogelijk af te voeren. Het (her)meanderen van een beekstelsel zorgt voor een doorstroming in droge periodes en geeft meer ruimte tijdens natte periodes (Verdonschot, van der Wal, & van Weeren, 2011). Het water in de beek moet namelijk een langere afstand afleggen. Door deze afstand is de stroomsnelheid lager dan in het huidige beekprofiel, waardoor minder water wordt afgevoerd. De afvoer wordt over een groter beekoppervlak verdeeld dan in het huidige beekprofiel. Deze maatregel is duurzaam door het creëren van verschillende stroomsnelheden binnen het beekprofiel (binnen en buitenbocht), waardoor verschillende habitattypen ontstaan. Hiermee wordt de biodiversiteit in het beekstelsel verhoogd.

Beoogd effect: Langer vasthouden van water in de beek en toename in stroomsnelheidsverschillen in de beek.

Voordelen:

- Langere verblijftijd van water in de beek;
- Door verschillen in stroomsnelheid, neemt de dieptevariabiliteit toe;
- Toename stroomvariabiliteit;
- Goed voor de biodiversiteit.

Nadelen:

- Grond van agrariërs moet worden aangekocht (Smit & Tiehatten, 2019);
- De beek erodeert aan de oever door meanderen.

9.2. Beheermaatregelen

Maatregel 5: Aanpassingen beregening

Beperkingen en verboden

In het jaar 2018 is één derde, van het totaal onttrokken water voor beregening, afkomstig uit oppervlaktewater en twee derde uit grondwater. Beregening uit het grondwater was twee keer zoveel dan gebruikelijk tijdens de zomermaanden. Deze maatregel zorgt voor het efficiënt en duurzaam mogelijk gebruiken van oppervlakte- en grondwater. Door de wateronttrekkingen te minimaliseren, daalt de (grond-)waterspiegel minder snel waardoor de bodem minder snel verdroogt (Beleidsstafel Droogte, 2019; van den Eertwegh et al., 2019). Waterschappen kunnen beperkingen en verboden ten aanzien van onttrekkingen opleggen wanneer dit nodig is. Een beperking kan zijn dat agrariërs niet meer overdag mogen beregenen, dit heet ook wel een beregeningsverbod. Een beregeningsverbod verschilt qua lengte in de hoeveelheid dagen of maanden wanneer het verbod geldt. Daarnaast kan een beregeningsverbod gelden voor de gehele dag of een dagdeel. Door in de avond te beregenen verdampt minder water, waardoor minder water onttrokken hoeft te worden. Wanneer het oppervlaktewaterpeil of het grondwaterpeil te laag zakt kan het waterschap een onttrekkingsverbod laten gelden. Onder een onttrekkingsverbod wordt verstaan het niet onttrekken van oppervlaktewater uit watergangen of het niet onttrekken van grondwater. Door steeds na iedere droge periode te analyseren op welke oppervlakte- en grondwateronttrekkingen bespaart kan worden, kan in de toekomst water anders verdeeld worden (Beleidsstafel Droogte, 2019).

Beoogd effect: Minder effecten op de regio en de waterhuishouding in een gebied en het zo efficiënt mogelijk gebruiken van oppervlakte- en grondwater.

Periode van maatregel: Voor en na een droge periode om het regenwater te kunnen laten infiltreren in de ondergrond, zodat het bodemvocht en het grondwater wordt aangevuld. Tijdens een droge periode om het water optimaal te kunnen verdelen.

Voordelen:

- Minder snelle daling van de grondwaterstanden;
- Minder snel droogvallen van watergangen, waardoor de aquatische ecologie behouden blijft;
- Minder verstoring van kwelstromen door het minder onttrekken van grondwater;
- Het efficiënter onttrekken van oppervlakte- en grondwater, waardoor meer water in de ondergrond blijft.

Nadelen:

- Agrariërs mogen minder of niet beregenen;
- Wanneer niet beregend mag worden treedt gewasschade eerder op;

Druppelirrigatie



Door gewassen te beregenen met druppelirrigatie wordt zo duurzaam mogelijk omgegaan met het beschikbare water. Druppelirrigatie zorgt ervoor dat de juiste hoeveelheid water op de juiste locatie op het perceel terecht komt. De druppelirrigatie kan zowel ondergronds als bovengronds worden aangelegd. Als druppelirrigatie ondergronds wordt aangelegd, is de levensduur van deze irrigatie net zo lang als bij het aanleggen van drainage (ongeveer tien tot twintig jaar). Dit komt doordat de ondergrondse irrigatie minder snel beschadigd raakt bij het bewerken van het land. Voordat druppelirrigatie aangelegd kan worden, moet onderzocht worden wat het effect van zowel een natte- als een droge periode op het betreffende perceel heeft. Wat de effecten hiervan zijn op het bodemvocht gehalte, wat de capillaire werking is in de ondergrond en wat de diepte van de wortels is van de geteelde gewassen. Tevens is van belang wat de doorlatendheid is van de ondergrond (Meijeren & Hulshof, 2018).

Beoogd effect: De gewassen krijgen met deze maatregel een optimale vochttoestand en het productieproces zal verbeteren.

Periode van maatregel: Voor en tijdens een droge periode.

Voordelen:

- De vochttoestand in de bodem wordt op niveau gehouden;
- Zorgt voor efficiënt watergebruik, waardoor minder water benodigd is om de gewassen te laten groeien.

Nadelen:

- De agrariërs moeten dit aan willen leggen.

Maatregel 6: Maaibeleid van de beek aanpassen

Vanaf het midden mei tot en met augustus beperkt maaien van de beekoevers, zodat de begroeiing in de beek kan zorgen voor een grotere weerstand. Als in deze periode beperkt wordt gemaaid, kan de begroeiing toenemen en kan de hydraulische weerstand (Manning-waarde) vergroot worden tot meer dan 0,1 (voor normaal gemaaid loop bedraagt de hydraulische weerstand circa 0,022). Deze grotere weerstand zorgt ervoor dat de stroomsnelheid drie keer zoveel afneemt en dat het debiet met dertig procent vermindert (Keizer-Vlek & Verdonschot, 2015). Hierbij moet tevens rekening worden gehouden met piekbuien in de zomerperiode. Daarom wordt aangeraden om stroombanen te maaien in het midden van de watergangen, zodat de waterkwaliteit gewaarborgd wordt met een lage stroomsnelheid (Wesselink & Boone, 2020). Deze maatregel is flexibel maaibeheer waarbij bij een langer aanhoudende droogte gewacht wordt met maaien. Hierdoor hebben verschillende soorten flora en fauna de kans om te groeien in deze periode. Dit draagt bij aan de duurzaamheid en daarmee de biodiversiteit van het gehele ecosysteem in de beek. Bij het voorspellen van een langdurige natte periode wordt de watergang weer geheel gemaaid.

Beoogd effect: Water minder snel afvoeren, waardoor het water kan infiltreren in de ondergrond en het grondwater kan aanvullen.

Periode van maatregel: Voor en tijdens een droge periode. Vanaf halverwege de maanden mei tot en met augustus.

Voordelen:

- Water wordt minder snel afgevoerd;
- Hoger percentage bodemvocht.

Nadelen:

- Waterlopen kunnen dichtgroeien;
- Verruwing van het beekprofiel door minder te maaien, kan zorgen voor opstuwing van het water gedurende ongunstige perioden (piekbuien in de late lente/vroege zomer). In combinatie met de hoge concentratie nutriënten afkomstig van landbouwgronden, doordat het water minder snel wordt afgevoerd, en de hoge concentratie van overmatige plantengroei kunnen algen sneller gaan groeien. Dit proces leidt tot eutrofiëring van de beek waardoor de algengroei versterkt wordt. Deze algen ontnemen de zuurstof en zonnestraling van andere planten, waardoor de waterkwaliteit verslechterd.

Maatregel 7: Stuwbeheer aanpassen

Door deze maatregel kan gereguleerd worden hoeveel water een beek afvoert. Het is vóór een droge periode namelijk essentieel dat het water blijft stromen in een beek, maar dat het water niet een te laag debiet heeft, waardoor de temperatuur in het oppervlaktewater stijgt en chemische effecten optreden (gebaseerd op paragraaf 4.1 en 4.2). Het water mag niet tot stilstand komen, omdat dit niet ten goede gaat van de waterkwaliteit in de beek. Het water in een beek moet altijd langzaam stromen, en een lage afvoer hebben (van den Eertwegh et al., 2019). Deze maatregel verstoort de vismigraatie in de beek, omdat stuwen hoger worden ingesteld.

Daarnaast kan gewerkt worden met het verhogen van het stuwpeil, waarbij het water weinig tot niet wordt afgevoerd naar andere watergangen. Het verhoogd stuwpeil moet ervoor zorgen dat de omliggende percelen rondom de beek genoeg water ter beschikking hebben (Beleidsstafel Droogte, 2019). Een voorbeeld hiervan is het langer vasthouden van water in het voorjaar, door stuwen op te laten staan in plaats van het water versneld afvoeren. Waardoor het groeiseizoen voor de agrariër later van start kan gaan. Hierdoor wordt in het voorjaar langer water vastgehouden en is de watervoorraad groter.

Bij het verhogen van het stuwpeil kan gebruik gemaakt worden van verschillende soorten stuwen: een kantel-/klepstuw, een overstortput, een schotbalkstuw en een overstortschuif. De kantel-/klepstuw kan tot bijna op de bodem worden ingesteld (lage inbouwhoogte) en is gemakkelijk in te stellen met een draaibeweging. De overstortput kan aangesloten worden op een duiker of leiding en het waterpeil bovenstrooms reguleren. Een schotbalkstuw, genaamd knijpstuw, wordt vooral gebruikt in de agrariërs sector en kan de waterstanden bovenstrooms reguleren met behulp van balken met verschillende hoogtes. De knijpstuw heeft aan de onderkant een opening waar het 'basis' waterniveau in een beek gevuld wordt. De knijpstuw kan tijdelijk water vasthouden in de vorm van een berging in de beek, totdat het waterniveau de bovenkant van de stuwbalk heeft bereikt. Een overstortschuif kan op de millimeter nauwkeurig bediend worden door de spindelbediening. De schuif kan teven ingesteld worden met een onderdoorlaat, omdat deze schuif behalve de spindelbediening ook balken heeft (KWT waterbeheersing, 2020).

Beoogd effect: Watervoerend houden van beken en genoeg water ter beschikking houden voor omliggende omgevingspercelen.

Periode van maatregel: Voor en tijdens een droge periode dus rond de periode van 1 mei tot en met augustus stuwen omhoog zetten.

Voordelen:

- Verminderde afvoer;
- Verhogen grondwaterstanden;
- Het beperken van de drainage van aanliggende percelen.

Nadelen:

- Water in de beek kan sneller stil komen te staan;
- Door een lagere stroomsnelheid verdampt meer water uit de beek
- Wateroverlast kan eerder ervaren worden bij het optreden van inundatie wanneer de stuwen te laat gestreken worden.

Bijlage 10: Onderbouwing Multicriteria-Analyse

In deze bijlage worden de onderbouwing per parameter en per maatregel uit hoofdstuk 6 uitgelegd.

10.1. Inrichtingsmaatregelen

Maatregel 1: Waterbergend vermogen in de bodem verhogen in het stroomgebied van de beek

Aanpassen landgebruikstypen

- **Bodemvochtgehalte:** Het bodemvochtgehalte wordt vergroot door het optimaal gebruiken van het oppervlakte- en grondwater. Door minder intensief landbouw toe te passen en daarbij de watervraag aan te passen door het veranderen van het landgebruikstypen, wordt het bodemvochtgehalte vergroot. Een voorbeeld hiervan kan zijn van akkerbouw naar beweiding, beweiding naar natuur of akkerbouw naar natuur. Door het aanpassen van de landgebruikstype wordt het waterverbruik verminderd en wordt de ondergrond minder verdicht. De ondergrond wordt minder intensief gebruikt, waardoor het water beter in de bodem kan infiltreren. Bij deze aanpassing moeten de landbouwpercelen zo min mogelijk verdicht worden tijdens het bewerken van de grond.
- **Tijdsperiode water vasthouden:** Dit is een permanente mitigatiemaatregel. Door de verandering van het landgebruik, wordt de beschikbaarheid van water in de bodem verbeterd en vergroot.
- **Afvoercapaciteit:** Landgebruiksverandering wordt op een grote schaal toegepast. Het zorgt alleen voor minder maaiveldafvoer, waardoor tijdens piekbuien minder gezorgd wordt voor inundatie rondom de beek. Deze maatregel zorgt niet direct voor het vertragen van de afvoercapaciteit.
- **Landgebruiksverandering:** Het landgebruikstype in het beekstelsel dient aangepast te worden om een robuust beekstelsel te creëren. Tevens kan het landgebruikstype worden aangepast per perceel door het veranderen van de teeltkeuze.
- **Waterkwaliteit:** De waterkwaliteit zal mogelijk verbeteren, door het veranderen van het landgebruik. Hierdoor komen minder nutriënten vrij door het optimaal gebruiken van water en bemesting.
- **Levensduur:** Deze maatregel hoeft maar een keer toegepast te worden om effectief te zijn.

Het verminderen van bodemverdichting

- **Bodemvochtgehalte:** Doordat de bodem minder verdicht wordt door gebruik te maken van rijpaden, kan het water beter infiltreren in de bodem. Dit resulteert in een hoger bodemvochtgehalte.
- **Tijdsperiode water vasthouden:** Dit is een permanente mitigatiemaatregel. Door de verandering van het gebruik van het perceel, wordt het perceel minder verdicht. Door deze maatregel wordt de beschikbaarheid van water in de bodem vergroot.
- **Afvoercapaciteit:** De afvoercapaciteit blijft hetzelfde als in de huidige situatie.
- **Landgebruiksverandering:** Het landgebruik dient eventueel aangepast te worden. Doordat sommige gewassen eventueel niet geteeld kunnen worden als gebruik wordt gemaakt van bredere banden of andere rijpaden. Dan is dit mogelijk niet meer financieel rendabel waardoor het kan zijn dat een landgebruiksverandering plaats moet vinden.
- **Waterkwaliteit:** De waterkwaliteit van de beek blijft gelijk, omdat deze maatregel geen invloed heeft op de nutriëntenuitwisseling en veel invloed heeft op het vergroten van het bodemvochtgehalte. Als de bodem minder verdicht is, neemt de bodem meer water op, waardoor significant iets minder water wordt afgevoerd richting de beek. Hierdoor stroomt minder water richting de beek en zullen minder nutriënten richting de beek afstromen.
- **Levensduur:** Deze maatregel hoeft maar een keer toegepast te worden om effectief te zijn.

Maatregel 2: Veranderen van de afvoerdynamiek en de grondwateraanvulling

Verwijderen van buisdrainage

- **Bodemvochtgehalte:** Door het verwijderen van buisdrainage kan het water infiltreren in de bodem in plaats van dat het water versneld wordt afgevoerd. Hierdoor wordt het bodemvochtgehalte verhoogd.
- **Tijdsperiode water vasthouden:** Dit is een permanente mitigatiemaatregel. Door het verwijderen van de buisdrainage, wordt de beschikbaarheid van water in de bodem vergroot.
- **Afvoercapaciteit:** De afvoercapaciteit wordt enigszins vertraagd. Het gehele buisdrainagestelsel wordt verwijderd. Hierdoor verandert de afwatering van het perceel. Dit resulteert in minder waterafvoer naar de beek en betere infiltratie in de bodem.
- **Landgebruiksverandering:** Normaliter is geen landgebruiksverandering nodig, omdat de agrariër kunstmatig de waterstand lager houdt, zodat hij gewassen kan telen. Echter bij het verwijderen van de buisdrainage kan voor een vernatting van het perceel worden gezorgd, waardoor eventueel een andere gewassoort geteeld moet worden op het perceel of de omliggende percelen, vanwege de hogere wordende waterstanden.
- **Waterkwaliteit:** De waterkwaliteit blijft gelijk, door het verwijderen van de buisdrainage wordt de ontwatering veranderd en daarbij zal het nutriëntengehalte in de beek niet veel veranderen.
- **Levensduur:** Deze maatregel hoeft maar een keer toegepast te worden om effectief te zijn.

Peilgestuurde/ regelbare drainage (PGD/ SPGD)

- **Bodemvochtgehalte:** Peilgestuurde drainage heeft geen positief effect op het verhogen van het bodemvochtgehalte. Hierdoor blijft het bodemvochtgehalte behouden als in de huidige situatie.
- **Tijdsperiode water vasthouden:** Dit is een tijdelijke mitigatiemaatregel. Deze maatregel houdt water tijdelijk, voor circa een paar weken, vast. Overtollig water wat niet gebruikt wordt, wordt opgevangen. Dit kan gebruikt worden tijdens een droge periode.
- **Afvoercapaciteit:** De afvoer wordt enigszins vertraagd. Door het omhoog zetten van de stuwstanden langs het perceel, wordt meer water vastgehouden.
- **Landgebruiksverandering:** Het omliggende landgebruik blijft hetzelfde.
- **Waterkwaliteit:** De waterkwaliteit kan mogelijk verslechteren. Door het aanleggen van peilgestuurde drainage wordt water nog steeds afgevoerd richting de beek. Hierdoor worden nog steeds nutriënten van de bemeste gronden meegenomen naar de beek.
- **Levensduur:** De waterstanden moeten zo worden ingesteld zodat ze optimaal zijn voor de geteelde gewassen. Het kan zijn dat dit meerdere keren per jaar aangepast moet worden.

Maatregel 3: Dood hout aanbrengen/laten liggen

- **Bodemvochtgehalte:** Het bodemvochtgehalte neemt enigszins toe. Het water in de beek wordt langer vastgehouden, waardoor het water langer de tijd heeft om te infiltreren in de bodem.
- **Tijdsperiode water vasthouden:** De maatregel houdt langer water vast dan één droge periode. Gekeken moet worden of het dode hout nog aanwezig is in de beek. Indien dit niet het geval is, moet dood hout worden aangebracht in de beek.
- **Afvoercapaciteit:** Doordat hout in het beekprofiel is aangebracht, ontstaat een natuurlijke barrière. Hierdoor wordt meer water op dezelfde plaats vastgehouden. Waardoor de afvoercapaciteit enigszins wordt vertraagd.
- **Landgebruiksverandering:** Het omliggende landgebruik blijft behouden.
- **Waterkwaliteit:** De waterkwaliteit wordt mogelijk verbeterd. Meerdere organismen, flora en fauna zullen zich rondom het hout ontwikkelen. Door het verschil in stroomsnelheden wordt gezorgd voor een grotere biodiversiteit.

- **Levensduur:** Dit hoeft waarschijnlijk één of minder dan een keer per jaar toegepast te worden. Dit verschilt per beekstelsysteem en/of het hout is weggestroomd of is weggehaald.

Maatregel 4: Aanpassen beekprofiel

Verbreiden en verondiepen van een beekprofiel

- **Bodemvochtgehalte:** Het bodemvochtgehalte neemt enigszins toe. Doordat de aansluiting met de oeverzone wordt vergroot. Hierdoor heeft het water langer de tijd om in de bodem te infiltreren.
- **Tijdsperiode water vasthouden:** Dit is een permanente mitigatiemaatregel. Door het verbreiden en verondiepen van het beekprofiel, wordt de beschikbaarheid van water in de bodem vergroot.
- **Afvoercapaciteit:** Het water in de beek wordt enigszins vertraagd afgevoerd. Door de lagere stroomsnelheid en de verspreiding van hetzelfde volume water over een breder oppervlak.
- **Landgebruiksverandering:** In de omliggende omgeving van de beek moet een kleine landgebruiksverandering plaatsvinden. Om de beek meer ruimte te geven voor de verbreding van de beek, dienen een deel van de omliggende percelen te worden aangekocht.
- **Waterkwaliteit:** De waterkwaliteit wordt mogelijk verbeterd, door de aanpassingen aan het profiel. De stroomsnelheid in de beek neemt af, dit zorgt voor een hogere biodiversiteit.
- **Levensduur:** Deze maatregel hoeft eenmalig geïmplementeerd te worden, om een impact te hebben op het beekstelsysteem.

Meanderen

- **Bodemvochtgehalte:** Het bodemvochtgehalte neemt enigszins toe. Door het meanderen van het beekprofiel, moet het water een grotere afstand afleggen. Hierdoor krijgt het water meer tijd om te infiltreren in de bodem.
- **Tijdsperiode water vasthouden:** Dit is een permanente mitigatiemaatregel. Door de verandering van de rechte beekloop naar het laten meanderen van de beekloop, is meer ruimte voor water in de beek. Hierdoor wordt het water langer vastgehouden in het beekstelsysteem.
- **Afvoercapaciteit:** De afvoercapaciteit wordt enigszins vertraagd, omdat het water een grotere afstand moet afleggen.
- **Landgebruiksverandering:** Voor de maatregel dient het omliggende landgebruik rondom de beek verandert te worden. Om de beek te laten meanderen is veel ruimte benodigd. Hiervoor moeten percelen rondom de beek worden aangekocht.
- **Waterkwaliteit:** De waterkwaliteit wordt door het laten meanderen van de beek mogelijk verbeterd, omdat de stroomsnelheid afneemt in de binnenbochten en toeneemt in de buitenbochten. Het zorgt voor een actief proces van zand- en slibtransport. Hierdoor ontstaat verschillende habitats. Tevens ontstaan mozaïeken in de beek met verschillende dieptes en breedtes.
- **Levensduur:** Deze maatregel hoeft eenmalig geïmplementeerd te worden, om een impact te hebben op het beekstelsysteem.

10.2. Beheermaatregelen

Maatregel 5: Aanpassingen berekening

Beperkingen en verboden

- **Bodemvochtgehalte:** Het bodemvochtgehalte blijft behouden. Door het instellen van deze maatregel, wordt voorkomen dat het bodemvochtgehalte, het oppervlakte- en grondwaterpeil niet verder daalt.
- **Tijdsperiode water vasthouden:** Deze maatregel werkt alleen net voor of tijdens een droge periode. Deze maatregel zorgt ervoor dat de onttrekkingen worden geminimaliseerd, waardoor de oppervlakte- en grondwaterstanden minder snel dalen.
- **Afvoercapaciteit:** De afvoercapaciteit blijft hetzelfde.
- **Landgebruiksverandering:** Het landgebruik blijft hetzelfde.
- **Waterkwaliteit:** De waterkwaliteit blijft gelijk, de waterkwaliteit in de beek wordt niet aangetast. De maatregel zorgt niet voor een verbetering of verslechtering van de waterkwaliteit. Door een tijdelijke verbod en beperking, blijft de beek eventueel langer watervoerend, waardoor de waterkwaliteit enigszins minder verslechterd. Dus de aanname is dat de waterkwaliteit gelijk blijft.
- **Levensduur:** Deze maatregel wordt voor een droge periode toegepast. Hoogstens wordt deze tijdens een droogteperiode van beperking opgeschaald tot een verbod.

Druppelirrigatie

- **Bodemvochtgehalte:** Het bodemvochtgehalte blijft behouden. Door het toepassen van deze maatregel, wordt voorkomen dat het bodemvochtgehalte, het oppervlakte- en grondwaterpeil niet verder daalt.
- **Tijdsperiode water vasthouden:** Hoewel dit een permanente maatregel moet zijn, houdt deze niet voor een langere tijdsperiode water vast. Door over te gaan naar druppelberekening, wordt optimaal water gebruikt voor de gewassen. Door deze maatregel wordt de beschikbaarheid van water in de ondergrond tijdelijk verbeterd en vergroot.
- **Afvoercapaciteit:** De afvoercapaciteit blijft hetzelfde.
- **Landgebruiksverandering:** Het landgebruik blijft hetzelfde
- **Waterkwaliteit:** De waterkwaliteit blijft gelijk, doordat het gewas optimaal wordt beregend, heeft de druppelirrigatie niet direct een effect op de waterkwaliteit van de beek.
- **Levensduur:** De druppelirrigatie moet worden aangepast aan de waterbehoefte. De waterbehoefte verschilt per teeltkeuze en groeicyclus. Dus de maatregel dient meerdere keren per jaar te worden toegepast.

Maatregel 6: Maaibeleid van de beek aanpassen

- **Bodemvochtgehalte:** Het bodemvochtgehalte neemt enigszins toe. De afvoercapaciteit wordt vertraagd. Hierdoor blijft het water langer in de beek aanwezig. Dit heeft als gevolg dat het water langer de tijd heeft om te infiltreren in de bodem.
- **Tijdsperiode water vasthouden:** De maatregel dient ieder jaar opnieuw te worden ingesteld om het effect van het maaien voor en tijdens een droge periode te kunnen bewerkstelligen.
- **Afvoercapaciteit:** De afvoer in de beek wordt vertraagd door het vergroten van de ruwheid in de beek door de groeiende vegetatie gedeeltelijk of niet te maaien.
- **Landgebruiksverandering:** Het landgebruik blijft behouden.
- **Waterkwaliteit:** De waterkwaliteit blijft gelijk. Het minder of niet maaien van de beek, zorgt niet voor een aantoonbare verandering van de waterkwaliteit. Daarom is aangenomen dat de waterkwaliteit hetzelfde blijft.
- **Levensduur:** Het maaibeleid aanpassen is het gedeeltelijk niet maaien tijdens de zomerperiode en wel maaien tijdens de winterperiode.

Maatregel 7: Stuwbeheer aanpassen

- **Bodemvochtgehalte:** Het bodemvochtgehalte neemt enigszins toe. De afvoercapaciteit wordt vertraagd. Hierdoor blijft het water langer in de beek aanwezig. Dit heeft als gevolg dat het water langer de tijd heeft om te infiltreren in de bodem.
- **Tijdsperiode water vasthouden:** De maatregel dient ieder jaar opnieuw te worden ingesteld om het effect van het langer vasthouden van water in het beekstelsel voor en tijdens een droge periode te kunnen bewerkstelligen.
- **Afvoercapaciteit:** Het water in de beek wordt vertraagd afgevoerd. Door het hoger instellen van de stuwstanden, wordt het water langer vastgehouden en wordt de afvoercapaciteit vertraagd.
- **Landgebruiksverandering:** Voor het creëren van de retentiegebieden dienen enkele percelen te veranderen qua landgebruik. Door het hoger instellen van de stuwen om water vast te houden, kunnen de omliggende percelen rondom de beek vernatten. Zo kan het water infiltreren in de ondergrond. Mogelijk worden gewassen geteeld op omliggende percelen, die niet tegen de vernatting kunnen. Dit resulteert in beperkte aanpassingen in het landgebruik.
- **Waterkwaliteit:** Als de stuwen worden opgezet, wordt het water vertraagd. Hierdoor blijft het water langer op dezelfde plaats. Het opzetten van de stuwen is slecht voor de vismigratie. Als uitspoeling van nutriënten plaatsvindt, komt dat op dezelfde plaats terecht. Dit kan zorgen voor een mogelijke verslechtering in de waterkwaliteit.
- **Levensduur:** De maatregel is het omhoog zetten van stuwen, deze maatregel wordt alleen tijdens of net voor een droge periode ingezet.