



Natuurherstel en klimaatbuffers in beekdalen

Een verkenning van de mogelijkheden tot integratie van wateropgaven in beekdalen

M.C. van Riel, R.C.M. Verdonschot en P.F.M. Verdonschot

| WOt-technical report 245



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Natuurherstel en klimaatbuffers in beekdalen

Dit WOt-technical report is gemaakt conform het Kwaliteitsmanagementsysteem (KMS) van de unit Wettelijke Onderzoekstaken (WOT) Natuur & Milieu, onderdeel van Wageningen University & Research.

WOT Natuur & Milieu voert wettelijke onderzoekstaken uit op het beleidsterrein natuur en milieu. Deze taken worden uitgevoerd om een wettelijke verantwoordelijkheid van de minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) te ondersteunen. WOT Natuur & Milieu zorgt voor rapportages en data voor (inter)nationale verplichtingen op het gebied van agromilieu, biodiversiteit en bodeminformatie, en werkt mee aan producten van het Planbureau voor de Leefomgeving zoals de Balans van de Leefomgeving.

Disclaimer WOt-publicaties

De reeks 'WOt-technical reports' bevat onderzoeksresultaten van projecten die kennisorganisaties voor WOT Natuur & Milieu hebben uitgevoerd.

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Het PBL is een inhoudelijk onafhankelijk onderzoeksinstituut op het gebied van milieu, natuur en ruimte, zoals gewaarborgd in de Aanwijzingen voor de Planbureaus, Staatscourant 3200, 21 februari 2012.

Dit onderzoeksrapport draagt bij aan de kennis die verwerkt wordt in meer beleidsgerichte publicaties zoals Natuurverkenning, Balans van de Leefomgeving en andere thematische verkenningen.

Het onderzoek is gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV).

Natuurherstel en klimaatbuffers in beekdalen

Een verkenning van de mogelijkheden tot integratie van wateropgaven in beekdalen

Mariëlle C. van Riel, Ralf C.M. Verdonschot, Piet F.M. Verdonschot

Wageningen Environmental Research

BAPS-projectnummer WOT-04-011-037.22

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Wageningen, september 2023

WOT-technical report 245

ISSN 2352-2739

DOI 10.18174/637279

Referaat

Riel, M.C. van, R.C.M. Verdonchot, P.F.M. Verdonchot (2023). Natuurherstel en klimaatbuffers in beekdalen; Een verkenning van de mogelijkheden tot integratie van wateropgaven in beekdalen. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-technical report 245.

In beekdalen komen veel gebruiksfuncties samen. Een op deze gebruiksfuncties aangepaste inrichting van het beekdal in combinatie met klimaatverandering leidt tot verschillende wateropgaven. Bekende wateropgaven zijn wateroverlast in bebouwde gebieden en waterschaarste in droge perioden tegengaan. Deze studie verkent de potentie van beekdalen op hogere zandgronden om als klimaatbuffer te kunnen fungeren. Een klimaatbuffer zou wateropgaven die ontstaan als gevolg van afvoerpieken of droogteperioden op kunnen vangen. De focus ligt hierbij op het aanpakken van wateropgaven via herstel van natuurlijke ecohydrologische beekdalprocessen. Onderzocht is of een ruimtelijke verkenning inzicht kan geven in knelpunten en oplossingen voor wateropgaven. Met behulp van ruimtelijke analyses zijn de potenties voor het inzetten van beekdalen als klimaatbuffer verkend. Beekdalen zijn ruimtelijk gedefinieerd en met elkaar vergeleken op (geo)morfologische, hydrologische en ecohydrologische kenmerken. Er is een toepassing ontwikkeld om op basis van bestaand kaartmateriaal potentiële wateropgaven in beekdalen te verkennen. De toepassing is inzetbaar voor het maken van ruimtelijke kansenkaarten ter ondersteuning van beleidsverkenningen. Hiermee draagt het rapport bij aan kennisvragen van het Planbureau voor de Leefomgeving over de potentie van het combineren van wateropgaven uit landbouw en stedelijke gebieden met natuurherstel en klimaatvraagstukken in beekdalen.

Trefwoorden: ecohydrologische beekdaltypering, integratie wateropgaven, beekdalprocessen, landgebruik, klimaateffecten

Nature restoration and climate buffers in stream valleys: exploring the possibilities for integrating societal and ecological water management goals.

Most of the stream valleys in the Netherlands have multifunctional uses. The impact of climate change and hydromorphological modifications to stream valleys can lead to water management problems. Well-known problems are flooding and droughts. This study explores the potential of stream valleys in the Netherlands to act as climate buffers to mitigate negative effects such as periodically high discharges or stream drying, focusing on solving water management problems through restoring natural ecohydrological stream valley processes. We investigated whether a spatial analysis could provide a better insight into the occurrence of water management problems and into potential solutions to these issues. The potential for water retention, infiltration and preventing runoff were explored. The Dutch stream valleys were spatially defined and compared according to their (geo)morphological, hydrological and ecohydrological features. An approach has been developed based on existing spatial data to explore where water management issues might arise and provides solutions in terms of measures. This results in maps depicting spatially which areas in stream valleys are potentially suitable to act as climate buffers to support water management and policy making.

This report contributes to the research questions from the Netherlands Environmental Assessment Agency about the potential for combining water management objectives in agricultural and urban areas with nature restoration and climate adaptation projects in stream valleys.

Foto omslag: overstroomd beekdal van de Run; Ralf Verdonchot

© 2023 **Wageningen Environmental Research**
Postbus 47, 6700 AA Wageningen
Tel: (0317) 48 07 00; e-mail: ralf.verdonchot@wur.nl

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (unit binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research),
Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 54 71, info.wnm@wur.nl, www.wur.nl/wotnatuurenmilieu.

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/637279> of op www.wur.nl/wotnatuurenmilieu. WOT Natuur & Milieu verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten.

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

WOT Natuur & Milieu aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Woord vooraf

In deze rapportage wordt verkend wat de mogelijkheden zijn voor het ontwikkelen van klimaatbuffers in de Nederlandse beekdalen. Klimaatbuffers kunnen een oplossing bieden voor wateropgaven in zowel een natuur-, agrarische als stedelijke context. Het is daarbij van belang om te weten waar deze opgaven zich zullen gaan ontwikkelen en welke gebieden kansrijk zijn om in te zetten als klimaatbuffer. Onderzocht is hoe de knelpunten en kansen in beekdalen voor het opvangen van wateropgaven aan de hand van ruimtelijke gegevens verkend kunnen worden.

Veel dank gaat uit naar Rogier Pouwels van WOT Natuur & Milieu en Arjan van Hinsberg, Frank van Gaalen en Rienk Kuiper van het Planbureau voor de Leefomgeving voor het meedenken en hun adviezen bij de totstandkoming van dit rapport.

Inhoud

Samenvatting	9
Summary	11
1 Inleiding	13
1.1 Achtergrond	13
1.2 Natuurlijke hydrologie als optimale klimaatbuffer	14
1.3 Probleemstelling en doel	14
1.4 Projectafbakening	15
1.5 Leeswijzer	16
2 Werkwijze	17
2.1 Ruimtelijke definitie van de beekdalen	18
2.2 Morfologie en bodemwaterfuncties in beekdalen	18
2.3 Functioneren beekdal	20
2.4 Ecohydrologische typologie	20
2.5 Landgebruiksfuncties	20
2.6 Stappenplan naar een kanskaart	21
2.7 Handelingsperspectieven	22
3 Resultaten	23
3.1 Ruimtelijke definitie beekdalen	23
3.2 Morfologie en bodem-water-functies	27
3.2.1 Geomorfologie van beekdalen	27
3.2.2 Hydromorfologische bodemkarakteristieken in beekdalen	30
3.2.3 Potentiële bodem-water-functies in beekdalen	32
3.3 Beekdalfunctioneren	35
3.4 Ecohydrologische typologie van beekdalen	37
3.5 Landgebruik	41
3.6 Stappenplan naar een kanskaart voor natuurlijk beekdalherstel	44
3.6.1 Inzet van de kaartlagen voor de verkenning van de potenties voor waterfuncties in verschillende typen beekdalen	44
3.6.2 Inzet van de kaartlagen voor de verkenning van knelpunten voor waterfuncties in beekdalen vanuit veranderend landgebruik en klimaat	49
3.6.3 Inzet van de kaartlagen voor de verkenning van toekomstige ontwikkelingen	49
3.7 Handelingsperspectieven voor fysiek herstel	51
3.7.1 Handelingsperspectieven voor hydrologisch herstel	51
3.7.2 Handelingsperspectieven voor de andere beekdaltypen	52
4 Conclusies en aanbevelingen	57
Literatuur	59
Verantwoording	60
Bijlage 1 Overzicht gebruikte kaarten	61
Bijlage 2 Vertaaltabel naar bodem-water-functies	63
Bijlage 3 Typologie Aggenbach et al. 2009	65

Samenvatting

In multifunctionele beekdalen komen wateropgaven uit natuur, landbouw en stedelijk gebied samen. Als gevolg van intensief gebruik is een groot deel van de beekdallandschappen ingericht op een zo efficiënt mogelijke afvoer van water. Dit heeft het natuurlijke ecohydrologisch functioneren van deze beekdalen aangetast. Integraal natuurherstel van beekdalen met een stroomgebiedsbrede aanpak biedt kansen voor een veerkrachtiger socio-ecologisch systeem. De opgave om klimaateffecten als droogte en piekaanvoeren op te vangen voor de rurale en stedelijke omgeving wordt hierbij gekoppeld aan natuurherstel.

In dit project is onderzocht of een ruimtelijke verkenning inzicht kan geven in waar knelpunten en oplossingen voor wateropgaven bestaan. Met behulp van ruimtelijke analyses zijn de potenties voor het inzetten van beekdalen als klimaatbuffer verkend. De verkenning is uitgevoerd vanuit drie aspecten die relevant zijn voor het ontstaan en oplossen van wateropgaven in beekdalen:

1. de morfologie van de ondergrond en de potentie voor bodem-water-functies;
2. het natuurlijk ecohydrologisch functioneren;
3. het landgebruik en de multifunctionaliteit hiervan.

Door het combineren van deze aspecten kan een kansenkaart samengesteld worden die vraagstukken omtrent wateropgaven in beekdalen ruimtelijk inzichtelijk maakt. In de praktijk blijkt dat informatie over actuele potenties en actueel functioneren van processen niet in voldoende detailniveau beschikbaar is. De wel beschikbare informatie is grotendeels historisch, ruimtelijk te grof en geeft alleen indicatief informatie over de potenties. Analyses zoals in deze studie zijn uitgevoerd geven derhalve een eerste idee van potenties van beekdalen op een globale schaal. Nadere toetsing op basis van lokale kennis en veldmetingen blijft echter nodig.

Morfologie en potentie voor bodem-water-functies in beeld

Beekdalkarakteristieken gerelateerd aan de (geo)morfologie, hydrologie en de ecologie beïnvloeden de capaciteit van een beekdal voor waterinfiltratie, waterberging of juist het optreden van af- en uitspoeling. Om de karakteristieken in beeld te brengen is begonnen om individuele beekdalen ruimtelijk te begrenzen. Vervolgens zijn kaartlagen aangemaakt voor geomorfologische en hydro(morfo)logische kenmerken van beekdalen. De geo- en hydromorfologie van de beekdalen en hun potentie voor bodem-water-functies is voor ieder beekdal gekwantificeerd naar het totale beschikbare oppervlak per onderzocht element. De uitkomsten zijn onderling vergeleken en via een clusteranalyse gegroepeerd naar overeenkomsten in de morfologie.

Voor de wateropgaven zijn de bodem-water-functies 'water vasthouden', 'infiltreren' en 'het optreden van afspoeling' van belang. Informatie uit beschikbare morfologische kaartlagen is daarom vertaald naar een kaartlaag die de potentie voor deze bodem-water-functies weergeeft voor de verschillende beekdalen. Per beekdal is de ruimtelijke capaciteit voor de drie bodemfunctiecategorieën gekwantificeerd. Geen van de beekdalen had een overwegend afstromende bodem. Dit betekent dat in ieder beekdal potentie voor infiltratie of het vasthouden van water aanwezig is en het geeft inzicht waar in het beekdallandschap deze potenties liggen. De actuele ligging van de beken en beekdalen komt echter niet altijd meer overeen met de oorspronkelijke natuurlijke situatie. Om deze discrepantie in beeld te brengen is een kaartlaag gemaakt met de actuele begrenzing van de afwateringsgebieden en deze is vergeleken met de ligging van de morfologische beekdalen.

Natuurlijk ecohydrologisch functioneren

Natuurlijke beekdalen hebben een groot waterbergend vermogen. Tijdens perioden met hogere afvoeren treedt de beek buiten haar oevers en overstroomt het beekdal. Water dat in de hogere delen van het beekdal als neerslag valt, kan infiltreren en in de bodem worden vastgehouden. Uiteindelijk stroomt het vertraagd af naar de beek, de benedenstroomse gebieden en het diepere grondwater. De natuurlijke beekdalen in de bovenstroomse gebieden van het stroomgebied fungeren zo als buffers, die water via de 'sponswerking' voor langere tijd voor het systeem beschikbaar houden. Directe berging in het beekdal bij veel neerslag dempt piekafvoeren in de beek, waardoor de afvoer in natuurlijke beeksystemen relatief stabiel is. Infiltratie van

neerslag in de hogere delen van het systeem fungeert als buffer die het grondwater op peil houdt. In de natuurlijke beken ligt de basisafvoer daardoor hoog en treden er weinig schommelingen in de afvoer op. Deze natuurlijke beekdalprocessen zijn van groot belang voor het opvangen van klimaateffecten. Herstel van het natuurlijk ecohydrologisch beekdal functioneren biedt daarom potentie voor beekdalen als klimaatbuffers.

Er zijn geen kaarten beschikbaar over het actuele functioneren van ecohydrologische processen. De wel beschikbare informatie bleek te grof om beekdalzones te kunnen identificeren en de samenhang tussen de transversale en longitudinale beekdalgradiënten af te leiden. Daarnaast zijn de interacties tussen beekdalprocessen in een beekdal complex, wat de interpretatie ervan zeer moeilijk maakt. Om in de verkenning toch de ecohydrologische aspecten in beekdalen mee te kunnen nemen is een landschappelijke typologie gemaakt op basis van een ecohydrologische typologie van beken en beekdalen in combinatie met de indeling van beken in hydrobiologische districten. Deze typering onderscheidt de volgende hoofdgroepen: heuvellandbeken, beekdalen in reliëfrijke gebieden, beekdalen zonder duidelijk beekdal en laaglandbeken. Binnen deze hoofdtypen kunnen de beekdalen verder worden onderverdeeld op basis van overeenkomsten in geomorfologie, hydromorfologie en hun potenties voor het vasthouden van water, infiltratie of het optreden van afstroming.

Landgebruik en multifunctioneel gebruik

Multifunctionele beekdalen zijn vaak morfologisch en hydrologisch aangepast aan de gebruiksfuncties binnen het beekdal. De natuurlijke beekdalprocessen zijn vaak aangetast, wat zich uit in bijvoorbeeld een verstoorde hydrologie en onvoldoende ruimte voor inundatie, wat kan leiden tot wateropgaven zoals droogte en wateroverlast door piekafvoeren. Als indicatie voor zowel de multifunctionaliteit als de aantasting van natuurlijke processen is landgebruik binnen de beekdalen in kaart gebracht. De meeste beekdalen bestaan uit een combinatie van landbouwgronden, bebouwd gebied en natuur, waarbij landbouw in totaal het grootste areaal inneemt.

Kansenkaart en handelingsperspectieven voor het combineren van wateropgaven

De aangemaakte kaartlagen en ecohydrologische hoofdgroepen vormen de bouwstenen voor een methode voor een ruimtelijke verkenning naar potentiële wateropgaven en mogelijke oplossingen. Door het combineren van informatie passend bij het vraagstuk kan een kanskaart gemaakt worden. Een kanskaart maakt zichtbaar waar knelpunten bestaan die voor wateropgaven kunnen zorgen. Ook maakt een kanskaart duidelijk waar combinaties van watervragen vanuit landbouw, stedelijk gebied en natuur samenkomen en aan welk type maatregelen gedacht kan worden om oplossingen mogelijk te maken. De handelingsperspectieven voor herstel van de hydrologische beekdalprocessen verschillen per type beekdal. De voorgestelde maatregelen centreren zich rondom het herstel van de verstoorde hydrologie, zoals ruimte voor inundatie, infiltratie en het vasthouden van water, het terugdringen van grondwateronttrekkingen en het afkoppelen van verharde oppervlakten.

De gemaakte kanskaarten kunnen dienen als eerste grove indicatie. Wanneer ze gecombineerd worden met actuele metingen en lokale gebiedskennis kunnen de kanskaarten hun toepassing vinden als ondersteuning voor beleidsdiscussies en verkenningen van (gecombineerde) wateropgaven en het selecteren van aandachtsgebieden. De haalbaarheid om wateropgaven op te kunnen vangen met natuurherstel in beekdalen hangt onder andere samen met ruimtelijke capaciteit, het actueel hydrologisch en ecologisch functioneren van het beekdal, de lokale effecten van klimaatverandering en de maatschappelijke functies van het gebied. Veel van deze aspecten zijn nu niet in beeld gebracht.

Om een beter beeld te krijgen van de effectiviteit van maatregelen is het belangrijk om informatie toe te voegen over het daadwerkelijke natuurlijke en actuele functioneren van het beekdal. Dit gaat om complexe processen op regionale schaal. Het advies is daarom om de verkenning van wateropgaven in beekdalen te combineren met een verdiepende historische en actuele gebiedsstudie voor de kansrijke gebieden, wat kan worden uitgevoerd in de vorm van een systeemanalyse.

Summary

Stream valleys have multifunctional uses, where water management objectives regarding nature conservation, agriculture and urban areas come together. As land use has intensified, the majority of stream valley landscapes have been adapted to discharge water as efficiently as possible. As a consequence, this has impaired the natural ecohydrological functioning of these stream valleys. Integrated restoration of stream valleys following a catchment-based approach offers opportunities for creating a more resilient socioecological system. This combines mitigation of climate impacts in rural and urban areas, such as drought and flooding because of peak discharges, with nature restoration.

This study investigated whether a spatial analysis could provide insight into where within catchments water management issues might arise and provides potential solutions to these problems. Spatial analyses were used to explore the potential of stream valleys to act as climate buffers. The study investigated three aspects relevant to the occurrence of water management issues and opportunities for solving them:

1. geomorphology and the potential for providing soil-water functions (e.g. water retention capacity);
2. natural ecohydrological functioning;
3. land use multifunctionality.

These aspects were combined to produce a so called 'opportunities map' that provides insight into the spatial distribution of both potential issues and opportunities related to water management in stream valleys. Information on the actual potential to act as a climate buffer and the state of ecohydrological processes proved not to be available in sufficient detail for most stream valleys in the Netherlands. The information that was available is largely historical, spatially too coarse and gives only indicative information. Analyses such as those made in this study therefore only give an initial idea of the potentials of stream valleys to act as climate buffers. Further assessment based on local knowledge and field measurements is necessary.

Morphology and the potential for soil-water functions

Morphological, hydrological and ecological features of stream valleys influence their capacity for water retention, infiltration, and runoff. To obtain an overview of these features we started by defining the hydrological boundaries of individual stream valleys. Map overlays were then made for their geomorphological and hydromorphological features. The geomorphology and hydromorphology of the stream valleys and their potential for providing soil-water functions were quantified for the total available surface of each feature investigated. The outcomes were compared and a cluster analysis performed to group stream valley types according to similarities in morphology.

The soil-water functions 'water retention capacity', 'infiltration capacity' and amount of discharge through 'runoff' are important features for determining water management objectives. Information from morphological maps was therefore translated into a map overlay indicating the potential for these soil-water functions in each stream valley. The spatial capacity for the three soil function categories was then quantified. None of the stream valleys had soils predominantly characterised by the feature runoff. This means that all Dutch stream valleys have the potential for infiltration or water retention. The areas in the catchment where these functions occur can be identified in more detail. However, the actual locations of stream valleys and stream networks do not always correspond with the natural situation. To identify this discrepancy, a map overlay was made showing the actual boundaries of the catchments and this was compared with the locations of the morphological stream valleys.

Natural ecohydrological functioning

Natural stream valleys have a high water storage capacity. During periods of high discharge the bankfull discharge is exceeded, which results in flooding of the valley. Precipitation infiltrates the higher grounds surrounding the valley and is retained there temporarily; this groundwater body acts as a large storage.. After a certain travel time, it finally enters the stream channel and moves to downstream areas as surface water, or it infiltrates further to the deeper groundwater. Natural stream valley wetlands in the upper reaches of the catchment (the headwaters) act as buffers that retain water like a 'sponge', making it

available to the system for a longer period of time. Finally, during heavy precipitation direct storage in the stream valley reduces peak discharges. As a consequence, discharge regimes of natural streams are relatively stable, with a high base flow and discharge volumes that do not fluctuate much. These natural stream valley processes are crucial for mitigating climate effects. Restoration of natural ecohydrological stream valley functioning therefore has the potential for changing stream valleys into climate buffers.

No maps are available showing the actual ecohydrological functioning of stream valleys. The information that was available proved to be too coarse to identify stream valley zones properly and to derive the relationship between transversal and longitudinal stream valley gradients. Moreover, the complexity of interactions between the different stream valley processes makes the interpretation of data very difficult. However, it was possible to include the ecohydrological aspects of stream valleys in the analysis, by making a landscape typology based on an ecohydrological typology of Dutch streams and stream valleys in combination with the classification of streams into hydrobiological districts for the Netherlands. This includes the following main categories: South Limburg hill streams, high-gradient lowland stream valleys, low-gradient lowland stream valleys, and streams without clear stream valleys. Within these main categories, the stream valleys can be subdivided according to similarities in geomorphology, hydromorphology and their potential for retaining and infiltrating water.

Multifunctional use of the stream valley landscape

Multifunctional stream valleys are often morphologically and hydrologically altered to meet the requirements of the different types of land use in the stream valleys. As a result, the natural stream valley processes are often impaired, which results, for example, in a disrupted hydrology and insufficient space for inundation, which can lead to drought and flooding during peak discharges. Land use within the stream valleys was mapped to indicate the multifunctionality and the level of degradation of natural processes. Land use in most stream valleys consist of a combination of agricultural land, urban areas and natural habitats, with agriculture taking up by far the biggest proportion of land.

The opportunities map and approaches to combine water management objectives

The map overlays and ecohydrological classification provide the building blocks for a method of spatial analysis to identify areas where potential water management issues arise and provide possible solutions. An opportunities map can be made by combining information relevant to the problem which has to be tackled to reveal the locations where problems might arise and that may require water management solutions. It also identifies where agricultural, urban or nature conservation project objectives can be combined and the type of measures that may lead to a solution to the water management problems encountered in a catchment. The options for restoring hydrological stream valley processes differ among stream valley types. The proposed measures focus on restoration of the disturbed hydrology, such as creating more space for inundation, promoting infiltration and water retention, reducing water abstraction, and disconnecting hard surfaces in urban areas.

The opportunities maps made during the study can serve as a first indication. When combined with field measurements and local knowledge of the area (e.g. the local context), the opportunities maps can be used to support policy discussions and the selection of project areas. The feasibility of tackling water management problems through nature restoration in stream valleys depends, among others, on the availability of land, the actual hydrological and ecological functioning of the stream valley, the local impact of climate change, and the socioeconomic functions of the area. Many of these aspects have not yet been identified.

To obtain a better picture of the effectiveness of the measures it is important to add information on the natural status and current functioning of the stream valley to the overall assessment. These are complex processes which act on a regional scale. Therefore, we advise combining an investigation of water management problems and potential solutions in stream valleys with an in-depth study of the historical and present functioning of the stream valley. This could be implemented by conducting a system analysis of the catchment.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het natuurbeleid streeft naar een robuuste en veerkrachtige natuur, die in verbinding staat met de maatschappij en de economie. Klimaatbuffers in beekdalen kunnen een dergelijke verbinding vormen. Dit vraagt om een verdieping van kennis over welke factoren het succes voor klimaatbuffers bepalen en wat de sturingsmogelijkheden voor de overheid hierin zijn.

De drie belangrijkste kenmerken van klimaatverandering zijn opwarming, droogte en wateroverlast. Onze maatschappij zal zich in de komende decennia moeten aanpassen aan klimaatverandering. Hiervoor moeten maatregelen genomen worden, waarbij het belangrijk is om de ecologische en bestuurlijke mogelijkheden te verkennen. Aandacht voor de waterproblematiek ligt daarbij voor de hand. Het wordt steeds duidelijker dat de kans op droogte op de hogere zandgronden toeneemt, waardoor de vraag naar water voor natuur en landbouw zal gaan stijgen. Voor de jaren 2018-2020 is deze ontwikkeling al zichtbaar. Daarnaast neemt de kans op wateroverlast toe, door het optreden van meer en intensere buien. Dit gebeurde bijvoorbeeld in 2016 (Noord-Brabant) en 2021 (Zuid-Limburg), toen veel beken en riviertjes door hevige regenval in de stroomgebieden buiten hun oevers traden. Klimaatverandering heeft ook directe gevolgen voor de natuur: bepaalde beschermde temperatuurgevoelige soorten gaan achteruit, terwijl zich tegelijkertijd nieuwe soorten uit zuidelijkere streken vestigen. Ook voor de landbouw en stedelijke ontwikkeling heeft klimaatverandering grote gevolgen, gerelateerd aan droogte, opwarming en wateroverlast.

Voor zowel natuurontwikkeling als voor waterhuishoudkundige verbetering wordt in hoog-Nederland vaak gekeken naar maatregelen in beken en de direct ernaast gelegen lage gronden in de beekdalen. In de huidige praktijk levert het beekherstel vaak nog niet het gewenste natuurrendement op. Hiervoor bestaan verschillende verklaringen. Zo zou door de focus op het behalen van de aquatische doelen voor de Kaderrichtlijn Water (KRW) het aanliggende beekdal buiten beschouwing worden gelaten, terwijl dat een wezenlijk onderdeel van het beekstelsel is. Een ander voorbeeld is de beperkte integratie van aquatische (KRW) en terrestrische (vaak VHR) natuurdoelen, waardoor een integrale beekdalbrede benadering uitblijft en veel herstelprojecten zich beperken tot een lokale, te kleine schaal, waarin niet alle relevante stressoren integraal worden aangepakt.

Experts zien kansen voor een integraal natuurherstel van beekdalen met een stroomgebiedbrede aanpak. Deze aanpak is gericht op het hydrologische systeem en betreft zowel het infiltratiegebied als het beekdal (Verdonschot *et al.* 2017a). Deze integrale aanpak op grotere schaal biedt ook perspectief voor water-vraagstukken in omliggende landbouwgebieden (droogte, en wateroverlast na piekbuien) en stedelijk gebied (wateroverlast bij heftige buien). Een integrale aanpak op een grotere landschappelijke schaal kan leiden tot een veerkrachtiger socio-ecologisch systeem, omdat een koppeling tussen natuurherstel en het verminderen van klimaateffecten op de rurale en stedelijke omgeving gemaakt wordt. Een dergelijke aanpak zorgt echter ook voor extra complexiteit, omdat niet alleen met ecologische aspecten rekening gehouden moet worden en deze benadering bestuurlijke grenzen overstijgt.

In dit project wordt verkend wat de mogelijkheden zijn voor het ontwikkelen van klimaatbuffers in beekdalen. Met klimaatbuffers bedoelen we gebieden waar bepaalde natuurlijke processen de ruimte krijgen zodat ze de effecten van klimaatverandering kunnen opvangen. Dit kan voor een versterking van de robuustheid en veerkracht van zowel de natuur als het aan het beekdal gerelateerde socio-ecologische systeem zorgen. Het is van belang om te weten waar wateropgaven zich zullen gaan ontwikkelen en welke gebieden kansrijk zijn als klimaatbuffer. Hiervoor moeten mogelijke knelpunten die zich kunnen ontwikkelen tot wateropgaven en potentiële oplossingen voor deze knelpunten ruimtelijk in beeld zijn. Onderzocht is hoe de knelpunten en kansen in beekdalen voor het opvangen van wateropgaven ruimtelijk verkend kunnen worden. Vanuit beleid bestaat er behoefte aan een ruimtelijke kansenkaart voor de aanpak van

wateropgaven. Waternatuur vormt het bestuurlijke grensvlak van verschillende organisaties en bestuurslagen, zoals waterschappen, ministeries, gemeenten, provincies, de agrarische sector en terrein-beherende organisaties. Een ruimtelijke verkenning van wateropgaven en kansen voor oplossingen kan beleidsdiscussies en keuzes voor kansrijke gebieden en maatregelen ondersteunen.

1.2 Natuurlijke hydrologie als optimale klimaatbuffer

Over het algemeen zal herstel naar de natuurlijke situatie de best functionerende klimaatbuffer opleveren. Dit houdt in dat de laaggelegen delen van beekdalen aanzienlijk natter zullen worden. Voor de bestaande gebruikersfuncties is dit maar tot een bepaald niveau gewenst of haalbaar. Bij het onderzoeken van potenties voor beekdalherstel in een gebied moet vooraf worden geanalyseerd welke functiecombinaties gemaakt kunnen worden of in de toekomst gewenst zijn. Verkend moet worden welke typen natuurdoelen, landbouw, recreatie en bebouwing tot de haalbare mogelijkheden behoren binnen de gestelde kaders. De uiteindelijke keuze voor herstel hangt niet alleen samen met ecohydrologische potentie of geomorfologische geschiktheid, maar is een beleidskeuze op basis van mogelijke combinaties van de huidige situatie en mogelijkheden voor het combineren van verschillende typen landgebruik, veelal op regionale schaal.

Herstel van natuurlijke processen op stroomgebiedsniveau vereist ruimtelijke keuzes. Vanuit het oogpunt van herstel van natuurlijke processen kan het beste gekozen worden voor stroomgebieden waar je dit herstel op een zo groot mogelijke oppervlakte kunt uitvoeren. Om locaties hiervoor te identificeren en de haalbaarheid te peilen zijn de volgende vragen van belang: 'Welke onderdelen van een beekdal functioneren al goed?', 'Hoeveel natuur is er al aanwezig in een stroomgebied?', 'Hoe gemakkelijk zijn de natuurlijke processen te verbeteren of te herstellen?', 'Waar liggen andere belangen die zwaarder wegen dan natuurherstel?' In beekdalen met de meeste of de hoogste natuurwaarden is de functionaliteit het makkelijkst te herstellen. Het is waarschijnlijk dat in beekdalen met een groter oppervlakte voor natuur ook het meeste draagvlak bestaat voor natuurherstel in beekdalen.

Ook kan vanuit het oogpunt van maatschappelijke opgaven, zoals het omgaan met droogte of wateroverlast, verkend worden waar de beste oplossingen gerealiseerd kunnen worden. Waar worden de meeste overstromingen verwacht? Waar komt de wateroverlast vandaan? Wat zijn de routes die het water aflegt en waar verzamelt het water zich? Kun je meer stroomopwaarts gebieden herstellen, zodat de wateroverlast benedenstrooms verminderd wordt? Denkend vanuit de risico's kom je waarschijnlijk tot andere ruimtelijke opgaven en keuzes in landgebruik en zonering dan wanneer wordt uitgegaan van de potenties van gebieden.

1.3 Probleemstelling en doel

Klimaatverandering kan grote gevolgen hebben voor natuur, landbouw en de woonomgeving. Op de hogere zandgronden kan een combinatie van natuurherstel met het versterken van klimaatbufferfuncties in beekdalen een oplossing zijn om gevolgen van klimaatverandering op te vangen. In beekdalen kan water worden geborgen, vastgehouden en geleidelijk weer worden afgegeven (de zogenoemde 'sponswerking'). Dit mechanisme kan uitkomst bieden voor zowel landbouw als natuur om periodes van watertekorten te overbruggen of om wateroverlast tijdens hevige regenbuien op te vangen. Hiervan kunnen bijvoorbeeld benedenstrooms gelegen agrarische of stedelijke gebieden profiteren.

Om de klimaateffecten in beekdalen te kwantificeren en uit te werken is inzicht nodig in de concrete betekenis van deze opgaven voor de beekdalen in hoog-Nederland. Het gaat hierbij om de effecten van opwarming, watertekorten en -overlast, gekoppeld aan natuurdoelen voor beekdalen. Het is op dit moment onduidelijk welke factoren in welke mate succesvol bijdragen aan het koppelen van wateropgaven uit de landbouw en woonomgeving aan natuurherstel. Ook is niet duidelijk wat hierbij de sturingsmogelijkheden voor de verschillende overheden zijn.

Het project heeft als doel om het inzicht te vergroten in waar en hoe de combinatie van natuurherstel (i.e. het versterken van de veerkracht van beekdalen inclusief hun grondwater) met een klimaatbufferfunctie in

beekdalen een bijdrage kan leveren aan klimaatadaptatie voor gebruiksfuncties als landbouw, stad (incl. drinkwater) en natuur.

De hoofdvraag is:

‘Wat zijn de kansen en knelpunten in beekdalen op de hogere zandgronden om via integrale water- en natuurmaatregelen wateropgaven als gevolg van klimaateffecten voor landbouw en natuur tegen te gaan en wateroverlast in stedelijk gebied te beperken?’

De volgende deelvragen kunnen worden onderscheiden:

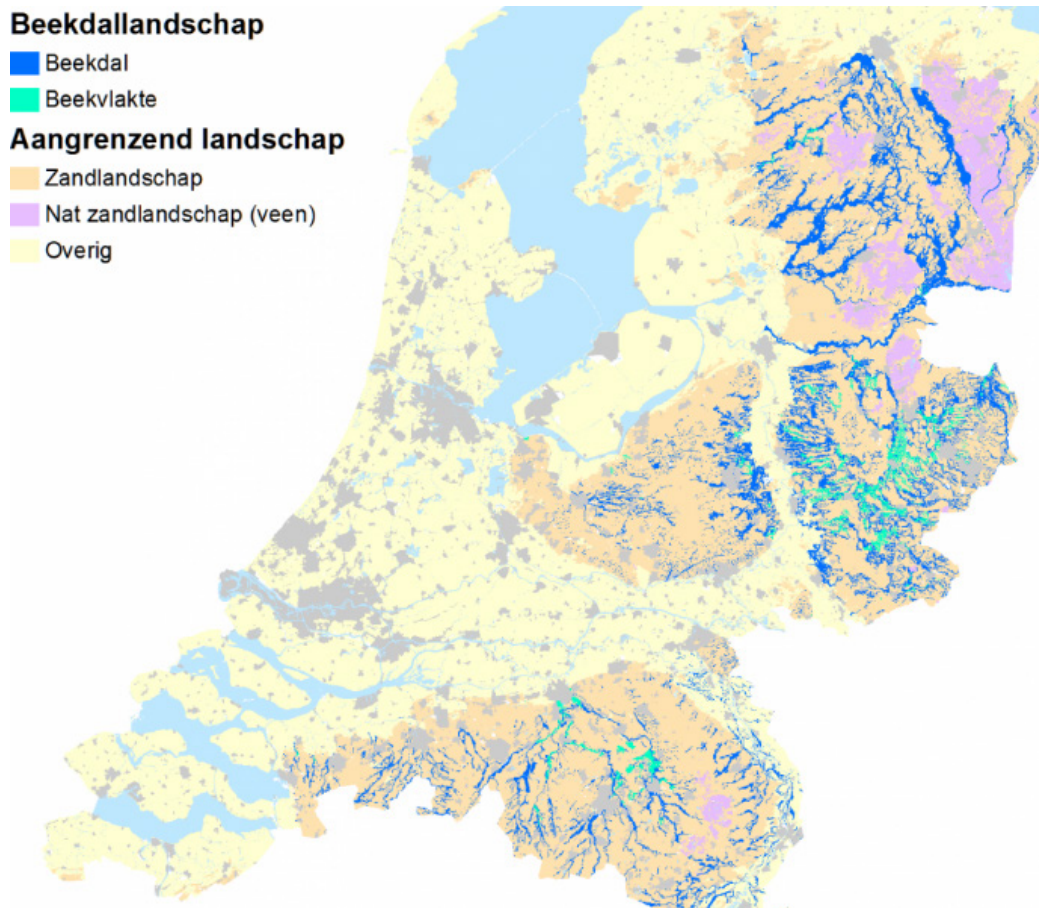
- Welke functiecombinaties kunnen waar worden gemaakt? Waar komen wateropgaven samen?
- Welke rol speelt ruimtelijk gebruik hierin?
- Wat betekent dit voor de sturing van de overheid?

De nadruk bij het beantwoorden van de vragen ligt in dit project op het landelijk identificeren en ruimtelijk weergeven van de fysieke wateropgaven voor natuurherstel, agrarisch gebruik en het bebouwd gebied. Het in beeld brengen van de fysieke kant van knelpunten en kansen zien wij als opstap naar een methode die ook breder kijkt naar socio-economische en bestuurlijke aspecten. We starten met een aanpak op basis van een typologie voor de beekdalen op de hogere zandgronden. Het gaat daarbij niet zozeer om een instrument dat detailinformatie bruikbaar op het niveau van een projectgebied levert, maar een typologie die een denkkader op landelijke tot regionale schaal biedt.

1.4 Projectafbakening

Het project richt zich op de beekdalen op de Nederlandse hogere zandgronden (figuur 1). Tot het beekdal wordt het gebied gerekend dat onder directe invloed van de beek staat of in het verleden heeft gestaan. De hoger gelegen infiltratiegebieden vallen erbuiten.

De resultaten van de studie zullen niet één op één te vertalen zijn naar andere typen wateren, omdat daar de fysieke randvoorwaarden verschillen en er andere opgaven spelen. Daarnaast is de functiecombinatie typologie opgesteld op een groot landschappelijk schaalniveau (landelijk-regionaal niveau). Deze geeft dus geen detailinformatie die bruikbaar is op een lokale schaal of op het niveau van individuele inrichtingsprojecten.



Figuur 1 Ligging van de beekdalen en beekvlakten op de hogere zandgronden in Nederland (Van Delft et al. 2021).

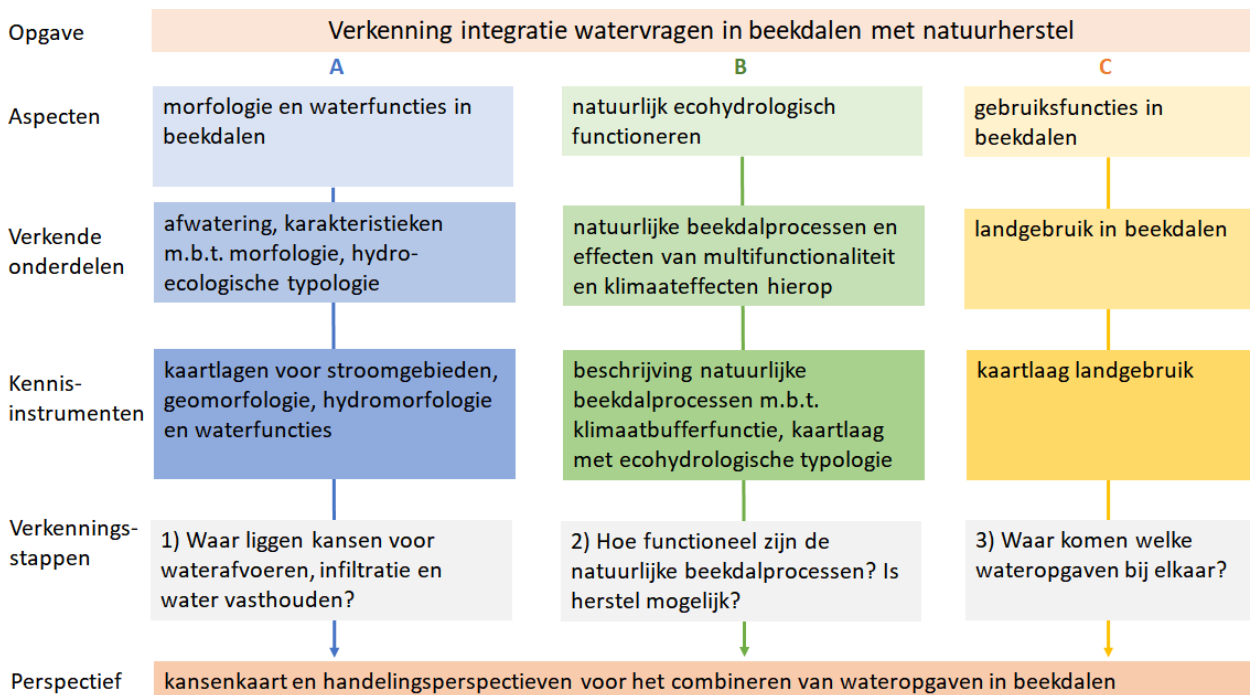
1.5 Leeswijzer

In deze studie zijn de beekdalen ruimtelijk gedefinieerd (paragraaf 2.1 en 3.1) en vervolgens geanalyseerd op basis van morfologische overeenkomsten en hun waterbergende en waterafvoerende capaciteit op basis van bodemwaterfuncties (paragraaf 2.2 en 3.2). Vervolgens is op basis van de literatuur uitgewerkt wat belangrijke processen zijn om een beekdal als een functionele klimaatbuffer te laten opereren (paragraaf 2.3 en 3.3). De specificatie van de beekdalprocessen hangt samen met het ecohydrologisch functioneren van een beekdal. Bij de verkenning van klimaatbufferfuncties in beekdalen is de ecohydrologische beekdalentypologie relevant; bestaande typologieën zijn vertaald naar een ruimtelijke weergave van de hoofdtypen (paragraaf 2.4 en 3.4). Als indicatie voor het natuurlijk functioneren van beekdalprocessen en de multifunctionaliteit van een beekdal is daarnaast het landgebruik in beekdalen geanalyseerd (paragraaf 2.5 en 3.5). De verschillende ruimtelijke analyses zijn gecombineerd tot een overzicht op hoofdgroepen. Vervolgens is een stappenplan opgesteld om de informatie uit de beekdalkaarten te combineren tot een kanskaart om potentiële wateropgaven en kansen voor oplossingen inzichtelijk te maken voor beleidsdiscussies (paragraaf 2.6 en 3.6). Tot slot zijn maatregelen als handelingsperspectieven voor de onderscheiden beekdalgroepen verkend (paragraaf 2.7 en 3.7).

2 Werkwijze

Om de kansen voor klimaatbuffers in beekdalen ruimtelijk te verkennen zijn verschillende stappen doorlopen (figuur 2). Er is gekeken naar drie aspecten die van invloed zijn op het ontstaan van wateropgaven in beekdalen en die kansen bieden voor mogelijke oplossingsrichtingen:

- de morfologie en de potentie van beekdalbodems om water te kunnen vasthouden, infiltreren of laten afstromen;
- het natuurlijk ecohydrologisch functioneren van beekdalen: natuurlijke beekdalprocessen die de klimaatbufferfunctie van beekdalen ondersteunen;
- de landgebruiksfuncties in beekdalen; wateropgaven die ontstaan door gebruiksfuncties gerelateerd aan landgebruik.



Figuur 2 Overzicht van de stapsgewijze verkenning van de mogelijkheden voor integratie van wateropgaven in beekdalen. Vanuit de vraagstelling worden drie aspecten van wateropgaven in beekdalen verkend. Deze aspecten zijn ruimtelijk inzichtelijk gemaakt in kaartlagen, die ingezet kunnen worden bij het verkennen van de basisvragen voor wateropgaven (grijze kaders). Het combineren van deze kennis maakt de risico's en kansen voor de aanpak van wateropgaven via natuurherstel in beekdalen inzichtelijk.

Vanuit deze aspecten worden de mogelijkheden voor het signaleren en combineren van wateropgaven verkend via de volgende vragen:

- Waar in de beekdalen kunnen wateropgaven opgevangen worden? Op basis van (geo)morfologische, landschappelijke, hydrologische en ecologische karakteristieken wordt verkend waar water kan infiltreren, vastgehouden kan worden of kan afstromen.
- Wat is de potentie voor het oplossen van wateropgaven via herstel van natuurlijke beekdalprocessen?
- Waar in de beekdalen komen landgebruiksfuncties samen en kunnen combinaties van wateropgaven vanuit natuur, landbouw en stedelijk gebied optreden en eventueel geïntegreerd worden?

Om deze vragen ruimtelijk te verkennen zijn kaartlagen gemaakt. Het combineren van informatie over het potentieel voor waterberging, -infiltratie en afstroming, ruimtelijk gebruik en de functionaliteit van natuurlijke beekdalprocessen geeft een indicatie voor handelingsperspectieven om de wateropgaven met

beekdalherstel te combineren. Een stappenplan is opgesteld om via het combineren van de kaartlagen wateropgaven en handelingsperspectieven te verkennen.

De analyses in deze studie zijn gebaseerd op bestaand kaartmateriaal. De bronreferenties naar de gebruikte kaarten zijn weergegeven in bijlage 1. Omwille van een objectieve benadering is de basisinformatie van de kaarten niet aangepast. Vanuit de basiskaarten zijn bij de vraagstelling passende kaartlagen afgeleid door herdefiniëring, combinatie en selectie van (onderdelen van) bestaande kaartlagen. Ruimtelijke analyses zijn uitgevoerd met QGIS 3.18. De aangemaakte kaartlagen zijn beschikbaar als QGIS-bestanden. Tabel B1.2 in bijlage 1 geeft een overzicht van de in het project aangemaakte kaartlagen.

2.1 Ruimtelijke definitie van de beekdalen

De beekdalenkaart van Van Delft *et al.* (2021) is gebruikt als ruimtelijke definitie van de beekdalen op hogere zandgronden in dit project. Deze beekdalenkaartlaag is ontwikkeld uit de Landschappelijke Bodemkaart, die gebaseerd is op de indeling zoals die in de landschapssleutel geformuleerd is (<https://www.landschapssleutel.wur.nl/>; Kemmers *et al.* 2011). Door het combineren van karteringen van bodem en geomorfologie geeft de landschappelijke bodemkaart informatie over zowel de geomorfologie als de bodemgesteldheid. De eenheden van deze kaart zijn gebaseerd op de geomorfologische kaart en bodemkaart van Nederland. De beekdalenkaartlaag is momenteel alleen als concept beschikbaar. In dit project is de meest actuele versie gebruikt (LBK Beekdallandschap versie 20210119.mxd). Het beekdal Kuinder/Koningsdiep ontbreekt in de huidige versie van de beekdalenkaart 'LBK Beekdallandschap', en is daardoor niet in deze studie meegenomen.

De actuele begrenzing van de afwateringsgebieden van de beekdalen is gedefinieerd op basis van hydrologische verbindingen tussen deelstroomgebieden. De hydrologische kaart voor de Kaderrichtlijn water (Nederlands Hydrologisch Instrumentarium; KRW.gdb) bevat een kaartlaag met begrensde afwateringsgebieden ('bassins') en een kaartlaag die de hydrologische verbindingen tussen deze afwateringsgebieden weergeeft. Door alle afwateringsgebieden die (in)direct met het beekdal in verbinding staan te selecteren, zijn de stroomgebieden voor de beekdalen uit de beekdalenkaartlaag gedefinieerd. Op deze wijze is een kaartlaag samengesteld met de stroomgebieden van alle beekdalen op de beekdalkaartlaag van de LBK. Naar de opgestelde kaartlaag voor de ruimtelijke positionering van de beekdalen wordt gerefereerd als 'kaartlaag 1_bekdalen en stroomgebieden'.

2.2 Morfologie en bodemwaterfuncties in beekdalen

In het onderdeel 'waterfuncties in beekdalen' worden de mogelijkheden in de beekdalen voor water vasthouden, infiltratie en het afstromen van water verkend (onderdeel A in figuur 2). Het gaat hierbij niet om waterfuncties gerelateerd aan gebruiksfuncties, maar om hydromorfologische bodemkenmerken die de bodem potentie geven om water op te kunnen vangen, te laten infiltreren, of juist af te laten stromen. De potentie voor deze waterfuncties hangt samen met beekdal- en bodemkarakteristieken, bijvoorbeeld met verschillen in stroomsnelheid, bodemdoorlaatbaarheid en oppervlakte van het beekdal. Als gevolg van verschillen in morfologie, hydrologie en ecologie zal de potentiële buffercapaciteit van beekdalen variëren. Om de mogelijkheden voor waterbuffering te verkennen zijn de beekdalen getypeerd naar morfologische, hydrologische en ecologische aspecten.

Vervolgens zijn deze beekdalkenmerken gerelateerd aan potentiële waterfuncties van de bodem, die passen bij hydrologische beekdalprocessen als afstroming, infiltratie of het vasthouden van water. Deze vertaling is voornamelijk gebaseerd op de waterdoorlatende en absorberende eigenschappen van de bodems. Zo zal een bodem die voornamelijk uit leem bestaat een geringe doorlatendheid van de bovengrond hebben, waardoor in natte perioden een deel van het regenwater zal stagneren op het maaiveld of daarover zal afstromen (Aggenbach *et al.* 2009). De analyse van beekdalkenmerken is onderverdeeld in de volgende onderdelen:

- geomorfologische beekdalkenmerken: een specificatie en onderlinge vergelijking van de geomorfologische samenstelling van beekdalen;
- hydromorfologische beekdalkenmerken: een specificatie en onderlinge vergelijking van de hydromorfologische samenstelling van beekdalen, gebaseerd op fysisch geografische landschapselementen;
- waterfuncties: een ruimtelijke verkenning van de potentie van beekdalbodems voor de waterfuncties 'afstromen', 'vasthouden' en 'infiltratie' op basis van fysische en geografische elementen; de potenties voor deze waterfuncties in beekdalen zijn onderling vergeleken.

Voor de analyse van de geomorfologische beekdalkenmerken is de bodemkaart van Nederland (Bodem250) als basiskaart gebruikt. De analyse van hydromorfologische beekdalkenmerken is gebaseerd op de kaart met fysisch-geografische elementen van Van Delft en Maas (2015). Deze kaart is samengesteld uit hydrologische, landschappelijke, (geo)morfologische en hydromorfologische elementen (vormingswijze en hoogteligging, substraateigenschappen en hydrologie). De kaart beschrijft de vorm en ordening in het landschap op basis van factoren als vormingswijze en hoogteligging, substraateigenschappen en hydrologie.

Voor waterfuncties is geen basiskaart beschikbaar. In het project is een basiskaart aangemaakt door fysisch-geografische elementen uit de kaart van Van Delft en Maas (2015) op basis van bodemeigenschappen te vertalen naar de potentiële bodem-water-functies 'water vasthouden', 'infiltratie' en 'afstroming'. De vertaaltabel is in de attribuentabel van de kaartlaag voor waterfuncties op te vragen en is tevens weergegeven in tabel B2.1 van bijlage 2. Voor alle drie de onderdelen (geomorfologie, hydromorfologie, en waterfuncties in beekdalen) zijn de volgende analysestappen doorlopen.

Stap 1: Beekdalspecifieke kaartlaag aanmaken

Via clipping in QGIS 3.18 zijn de kaartlagen met basisinformatie samengevoegd met de beekdalenkaart voor hogere zandgronden. De clips vormen kaartlagen waarop de (geo)morfologische en hydromorfologische informatie binnen de beekdalen gespecificeerd zijn. Omdat het afbeelden van kaarten met alle beekdalen te omvangrijk en gedetailleerd is voor in de rapportage, is er voor gekozen om uitsneden voor deelgebieden als voorbeeld te presenteren. De in dit project aangemaakte kaartlagen zijn als QGIS-bestanden op aanvraag beschikbaar.

Stap 2: Specificeren van de beekdalspecifieke samenstelling kenmerken per beekdal

De clips specificeren hoeveel areaal (m^2) van ieder kaartelement er per beekdal voorkomt. Deze informatie is vertaald naar een gekwantificeerde beekdalspecifieke samenstelling (m^2 per element per beekdal) voor (geo)morfologische en hydromorfologische beekdalkenmerken.

Stap 3: Vergelijken van beekdalen

De beekdalspecifieke samenstellingen zijn met elkaar vergeleken. Voor de geomorfologie en hydromorfologie zijn clusteranalyses (Ward clusteranalyse in Orange) uitgevoerd op basis van de gekwantificeerde beekdalspecifieke samenstellingen. De data zijn niet getransformeerd. De beekdalen zijn gegroepeerd naar hun overeenkomsten in deze fysische beekdalkenmerken. Afhankelijk van de vraagstelling zijn absolute arealen (m^2) of relatieve aandelen (%) geanalyseerd. Om de beekdalen onderling te kunnen vergelijken op basis van hun ruimtelijke capaciteit voor waterfuncties is een analyse op absolute arealen gewenst. Terwijl een vergelijking van de natuurlijke potentie binnen beekdalen voor waterfuncties juist vraagt om een analyse gebaseerd op relatieve beekdalsamenstellingen.

De clusterresultaten zijn weergegeven middels heatmaps. In een heatmap worden de waarden voor de geanalyseerde variabele weergegeven als een raster van gekleurde vierkanten (cellen). De kleur van elke cel geeft het waardebereik aan voor een variabele in een bepaalde categorie (weergegeven in kolommen) en voor een bepaald beekdal (weergegeven in rijen). In de figuren in deze rapportage correspondeert de kleur blauw met een lage vertegenwoordiging van een categorie in een beekdal. Voor de gele en rode vlakken is de vertegenwoordiging van de categorie in het beekdal sterker. Voor de vergelijking van bodem-waterfuncties in de beekdalen is een tabel samengesteld waarin de ruimtelijke potenties voor het vasthouden van water, infiltratie en afstromen voor ieder beekdal weergegeven worden.

2.3 Functioneren beekdal

Naast bodemeigenschappen bepalen het hydrologisch en ecologisch functioneren van de beekdalen de potentie voor het beekdal om als klimaatbuffer te kunnen fungeren. Het ecohydrologisch functioneren van natuurlijke beekdalsystemen is gebruikt als basis voor de verkenning van de mogelijkheden om wateropgaven via natuurherstel in beekdalen aan te kunnen pakken. Aan de hand van beschikbare studies is beschreven hoe natuurlijke beekdalen functioneren en welke processen hierbij van belang zijn. Vervolgens is beschreven hoe het natuurlijk functioneren in een multifunctioneel beekdal wordt beïnvloed door gebruiksfuncties en klimaateffecten. Hieruit volgt welke wateropgaven men in gemodificeerde, multifunctionele beekdalen kan verwachten. Vervolgens wordt beredeneerd hoe het herstel van natuurlijke beekdal functies kan bijdragen aan een robuuster watersysteem waarin beekdalen kunnen fungeren als klimaatbuffers (onderdeel B in figuur 2).

2.4 Ecohydrologische typologie

De functionaliteit van ecohydrologische processen kan niet op basis van kaartmateriaal geanalyseerd worden. De schaal van de kaarten is te grof om de beekdalzones te kunnen identificeren en de samenhang tussen de transversale en longitudinale beekdalgradiënten is niet af te leiden. Daarnaast zijn de interacties tussen beekdalprocessen in een beekdal complex en niet in kaartmateriaal te vangen.

Om het ecohydrologische aspect in beekdalen toch mee te kunnen nemen in de verkenning voor de inzet van beekdalen als klimaatbuffers is gezocht naar een manier om bestaande ecohydrologische definities te vertalen naar een ruimtelijk beeld. Aggenbach et al. (2009) hebben ecologische en hydrologische typeringen samengebracht tot een ecohydrologische typologie voor Nederlandse beekdalen. De typering berust op de ecohydrologische beekdaltypen en de aquatisch-ecologische beektypen en ecosystemen. De samenvattende tabel uit Aggenbach et al. (2009) is in bijlage 3 weergegeven. Deze ecohydrologische typering is als uitgangspunt genomen voor de ruimtelijke definiëring van beekdaltypen in dit project. De ecohydrologische typen uit Aggenbach et al. (2009) zijn op basis van morfologische en hydrologische beschrijvingen gekoppeld aan de biogeografische indeling van de hydrobiologische districten (Mol 1986) waartoe de beekdalen op de hogere zandgronden behoren. Vanuit de combinatie van de ecohydrologische typering met de hydrobiologische districten is een ruimtelijk definieerbare ecohydrologische typering samengesteld. Door het selecteren van beekdalonderdelen die voldoen aan de beekdaltypedefinities in de typologie is een kaartlaag voor ecohydrologische beekdaltypen gemaakt. De ruimtelijke verkenning is uitgevoerd met QGIS versie 3.18.

Om aan te kunnen geven waar water zich kan verzamelen is aanvullend op de ecohydrologische kaart een kaartlaag gemaakt met de laagten in de beekdalstroomgebieden. De laagten zijn geïdentificeerd op basis van de combinatie van hoogtelijnen (AHN3) en hydrologie (Nederlands Hydrologisch Instrumentarium, KRW.gdb). Voor ieder beekdal op de stroomgebiedbegrenzingkaart (kaartlaag 1 uit dit project) zijn de laaggelegen deelstroomgebiedjes (AHN3) waar de hydrologische verbindingen samenkomen (KRW.gdb) geselecteerd. Deze selectie is opgeslagen als Kaartlaag 6_laagten in beekdalen.

2.5 Landgebruiksfuncties

Gebruiksfuncties in de beekdalen zijn geanalyseerd aan de hand van de CORINE-landgebruikskaart (CLC2018). Voor het landgebruik in beekdalen is een beekdalspecifieke kaartlaag aangemaakt. Via intersecting in QGIS 3.18 is de CORINE-landgebruikskaart samengevoegd met de beekdalenkaart voor de hogere zandgronden. De intersect-kaart vormt een kaartlaag waarop het landgebruik binnen de beekdalen gespecificeerd is naar oppervlakte (aantal hectares). Vervolgens is aan de hand van de gecombineerde kaartlaag de verdeling van gebruiksfuncties binnen de beekdalen berekend en onderling vergeleken.

Omdat het project zich op natuurherstel in de beekdalen richt, is gekozen om de analyse van het ruimtelijk gebruik te beperken tot de directe omgeving van de beken; specifiek het gedeelte binnen de beekdalen. Het

landgebruik in de afwateringsgebieden is niet geanalyseerd. Uiteraard heeft landgebruik in de afwateringsgebieden via toe- en afstromende waterstromen invloed op de beekprocessen en op het ontstaan van wateropgaven. In de methode voor de verkenning van (combinaties van) wateropgaven in beekdalen (zie paragraaf 2.6) is een verkenning van het landgebruik op grotere schaal wel opgenomen.

2.6 Stappenplan naar een kanskaart

Opgaven voor natuur, landbouw en stedelijk gebied spelen op verschillende schaalniveaus en worden door verschillende bestuurlijke onderdelen behandeld. De kern hierbij is om inzicht krijgen in de samenhang van de diverse doelen en eisen met betrekking tot waterkwantiteits- en waterkwaliteitsbeheer, natuurkwaliteit, het wateroverschot en de watervraag. Er is bij beleidsmakers behoefte aan een ruimtelijke kanskaart die kan dienen als indicatie waar en hoe de buffercapaciteit in beekdalen het effectiefst benut of verbeterd kan worden om wateropgaven op te kunnen lossen. Een dergelijke kanskaart heeft voornamelijk een discussiefunctie voor beleidsmakers: 'Wat wordt waar gevraagd? Wat kan er waar? Wat zijn handelsperspectieven?'

Verkend is of potentiële kansen en risico's met betrekking tot wateropgaven ruimtelijk inzichtelijk gemaakt kunnen worden en of dit bijdraagt aan de beleidsdiscussie. De in dit project aangemaakte kaartlagen vormen de bouwstenen voor deze aanpak. De combinatie van kaartmateriaal brengt in beeld waar in de beekdalen afstroming of infiltratie plaats kan vinden, waar het water naartoe zal stromen en waar het zich zal verzamelen. Dit geeft inzicht in waar in het beekdal de meeste ruimte bestaat om water vast te houden.

Door het combineren van kaartlagen kan in een aantal stappen een globaal inzicht gegeven worden in potentiële (oplossingen voor) wateropgaven in beekdalen. Hierbij worden beekdalkenmerken gerelateerd aan de potenties voor de waterfuncties 'water vasthouden', 'infiltratie' of 'afstroming'. Vervolgens kan verkend worden of deze wateropgaven via natuurherstel aangepakt kunnen worden.

1. Verkenning van knelpunten

Door de kaartlagen met beekdalkenmerken te combineren met de gebruiksfuncties op basis van het landgebruik in de beekdalen (onderdeel C in figuur 2) wordt duidelijk gemaakt waar in de beekdalen knelpunten bestaan die kunnen leiden tot wateropgaven voor natuur, landbouw of stedelijk gebruik. Deze knelpunten kunnen bestaan uit morfologische, landschappelijke, hydrologische en ecohydrologische aspecten die leiden tot het ontstaan van een wateroverschot of een -tekort in delen van het beekdal.

2. Verkenning van wateropgaven

Door te verkennen waar potentiële knelpunten in de beekdalen samenkomen met de functies 'natuur', 'landbouw' en 'stedelijk gebied' ontstaat een kaart die ruimtelijk inzicht geeft in waar welke wateropgaven kunnen gaan spelen en in welke gebieden deze wateropgaven samenkomen.

3. Gebiedspecifieke analyse naar potentie natuurherstel

Om de potentie van het aanpakken van wateropgaven via natuurherstel in beekdalen te verkennen is een indicatie van de actuele status van de natuurlijke beekdalprocessen van belang. Ecohydrologische processen dragen immers bij aan het vasthouden en vertraagd afvoeren van water, waardoor waterpieken in het beekdal opgevangen kunnen worden en het water voor langere tijd in het beekdal beschikbaar blijft. Deze processen kunnen niet via het beschikbare kaartmateriaal inzichtelijk gemaakt worden. Het schaalniveau van de beekdalinformatie en de complexiteit van de beekdalprocessen maken het lastig om de informatie te vertalen naar een landelijke kanskaart. Wel kan via het landgebruik verkend worden hoe natuurlijk of multifunctioneel een beekdal is. Hierbij is de aanname dat een beekdal met een groot areaal niet-natuurlijke gebruiksfuncties binnen het beekdal sterker aangetast is dan een beekdal met een grote natuurcomponent.

2.7 Handelingsperspectieven

Om beekdalen als effectieve klimaatbuffers te laten functioneren moet gezocht worden naar effectieve mogelijkheden om wateropgaven uit landbouw, natuur en bebouwde gebieden gecombineerd aan te pakken door middel van het herstellen van het natuurlijk functioneren van beekdalen. Het is van groot belang dat de gekozen herstelmaatregelen passen bij de ecohydrologische situatie en natuurlijke processen in de beekdalen. Een groepering van beekdalen op basis van de in dit project geanalyseerde morfologische, hydrologische en ecohydrologische aspecten geeft een globaal overzicht van verschillende ecohydrologische typen beekdalen die in Nederland voorkomen. De groepering is uitgevoerd op basis van de uitgevoerde clustervergelijkingen. Beekdalen zijn gegroepeerd tot enkele hoofdtypen die zijn weergegeven in 'kaartlaag 7_overzicht groeperingen beekdalen'. Voor deze hoofdtypen is op basis van hun potentie voor de verschillende bodem-water-functies en ecohydrologische kenmerken beredeneerd wat handelingsperspectieven kunnen zijn voor het inzetten van natuurherstelmaatregelen ten behoeve van gecombineerde wateropgaven. De handelingsperspectieven zijn dus— net als de knelpunten- en kansenskaarten — niet gebaseerd op kennis van individuele gebieden.

3 Resultaten

Na een ruimtelijke definitie van de beekdalen in paragraaf 3.1 volgt de resultatenbeschrijving volgens de in figuur 2 beschreven structuur.

Onderdeel A

Paragraaf 3.2 'Morfologie en bodem-water-functies': een geo- en hydromorfologische karakterisering van de beekdalen (3.2.1 en 3.2.2) gevolgd door een verkenning van potentiële bodem-water-functies op basis van hydromorfologische kenmerken (3.2.3).

Onderdeel B

Paragraaf 3.3 'Beekdalfunctioneren': een op literatuurkennis gebaseerde beschrijving van ecohydrologische beekdalprocessen in natuurlijke en multifunctionele beekdalen.

Paragraaf 3.4 'Ecohydrologische typologie': een vertaling van de definitie van bestaande ecohydrologische typeringen naar een ruimtelijke weergave.

Onderdeel C

Paragraaf 3.5 'Landgebruik': een weergave van het landgebruik binnen het beekdal als indicatie voor de multifunctionaliteit van de beekdalen.

Integratie van de onderdelen tot een kanskaart

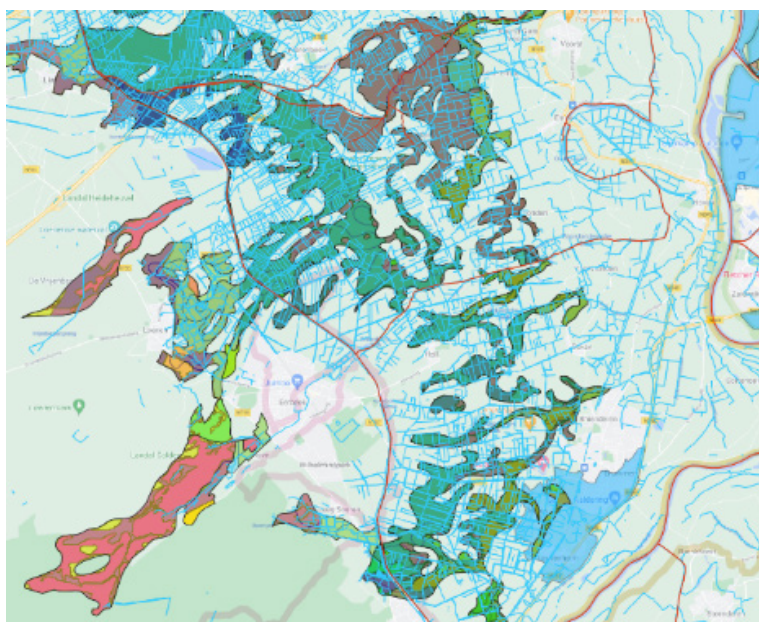
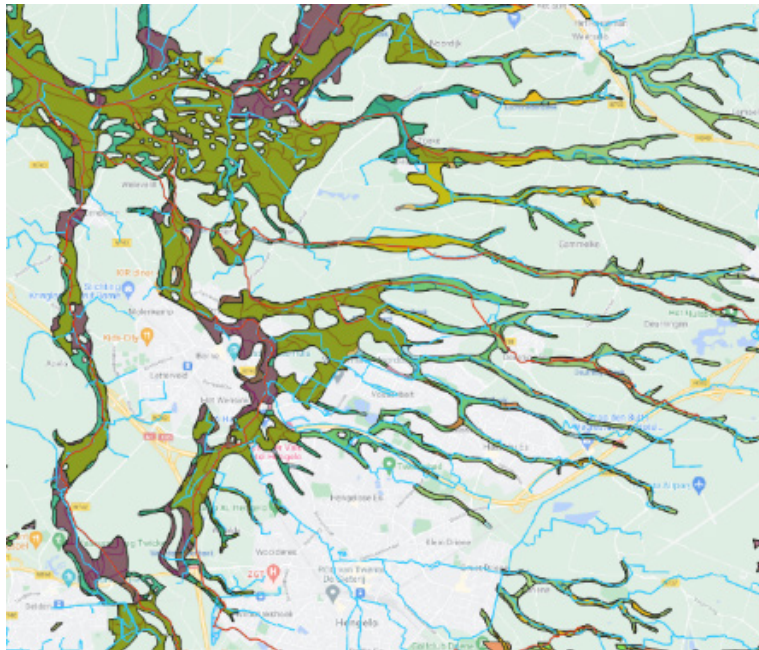
Paragraaf 3.6 'Stappenplan naar een kanskaart voor natuurlijk beekdalherstel: een methode om de aangemaakte kaartlagen te kunnen inzetten bij verkenningen van knelpunten die kunnen leiden tot (combinaties van) wateropgaven voor natuur, landbouw en urbaan gebied.

Paragraaf 3.7 'Handelingsperspectieven voor fysiek herstel': een overzicht op hoofdlijnen van de ecohydrologische overeenkomsten en verschillen tussen beekdalen; een advies voor natuurherstelmaatregelen om de klimaatbufferfuncties in beekdalen te stimuleren, passend bij de hoofdgroepen en verschillende beekdalzones die in deze studie onderscheiden zijn.

3.1 Ruimtelijke definitie beekdalen

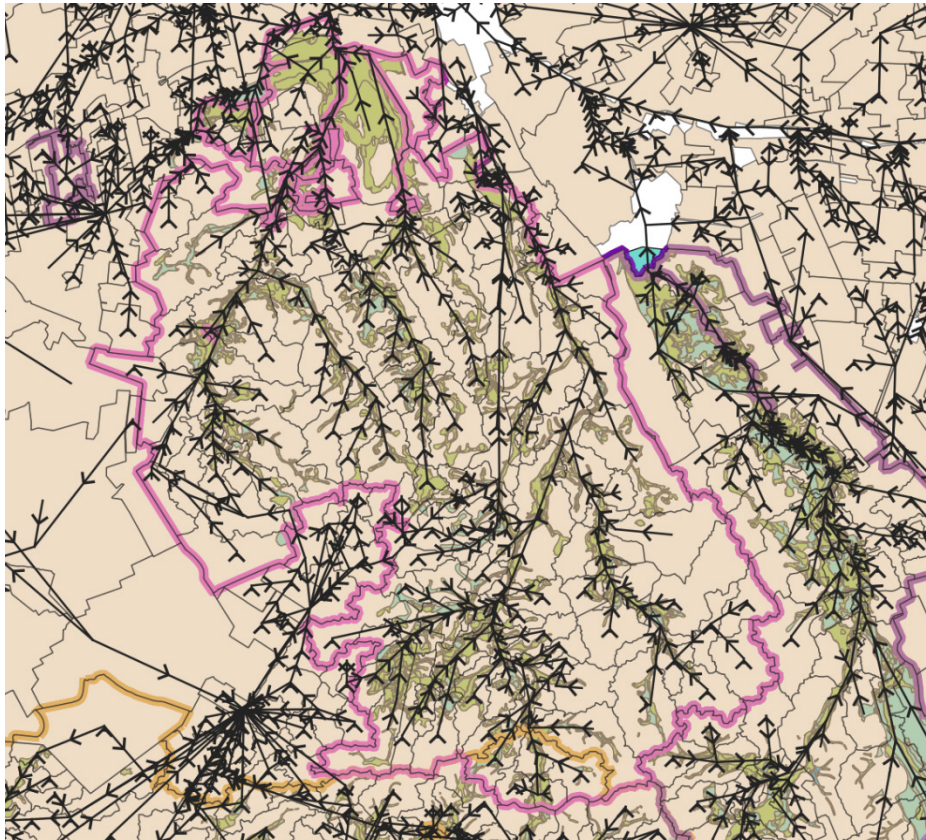
In dit project is de beekdalenkaartlaag volgens Van Delft et al. (2021) als ruimtelijke identificatie voor de beekdalen op hogere zandgronden aangehouden. Deze kaart identificeert beekdalen op basis van hun landschappelijke vorming en bodemeigenschappen. Niet alle beken op de kaart vormen een duidelijk beekdal. Bij sommige beken is er meer sprake van afwateringsgebieden. Voor alle beken wordt de ruimtelijke begrenzing als in van Delft et al. (2021) aangehouden. Als in de tekst naar beekdalen wordt gerefereerd, wordt de ruimtelijke definitie volgens deze beekdalenkaart bedoeld.

De op de beekdalenkaart aangegeven structuren zijn ontstaan door het landschappelijke vormingsproces op een lange tijdschaal. De beekdalen op de kaart geven aan waar in het landschap de beekdalen oorspronkelijk lagen. Dit beeld hoeft niet te corresponderen met de actuele ligging van de beken (figuur 3). Veel beekdalen en beken zijn in de loop van de tijd op grote schaal aangepast ten behoeve van ruimtelijke gebruiksfuncties of zijn nieuw aangelegd. Deze aanpassingen kunnen zo groot zijn dat de loop van de beek niet meer correspondeert met de landschappelijke contouren van het beekdal. Dit tast het natuurlijke hydrologisch en ecologisch functioneren van de beekdalen aan. Ofwel doordat het beekdal ruimtelijk beperkt is, waardoor processen niet meer kunnen plaatsvinden (overstroming), ofwel doordat de loop van de beek is aangepast om waterkwantiteitsfuncties te optimaliseren. Dit kan hebben plaatsgevonden door middel van normalisatie, kanalisatie en overdimensionering van bestaande beken, maar ook door verlegging en het graven van drainerende nieuwe watergangen.

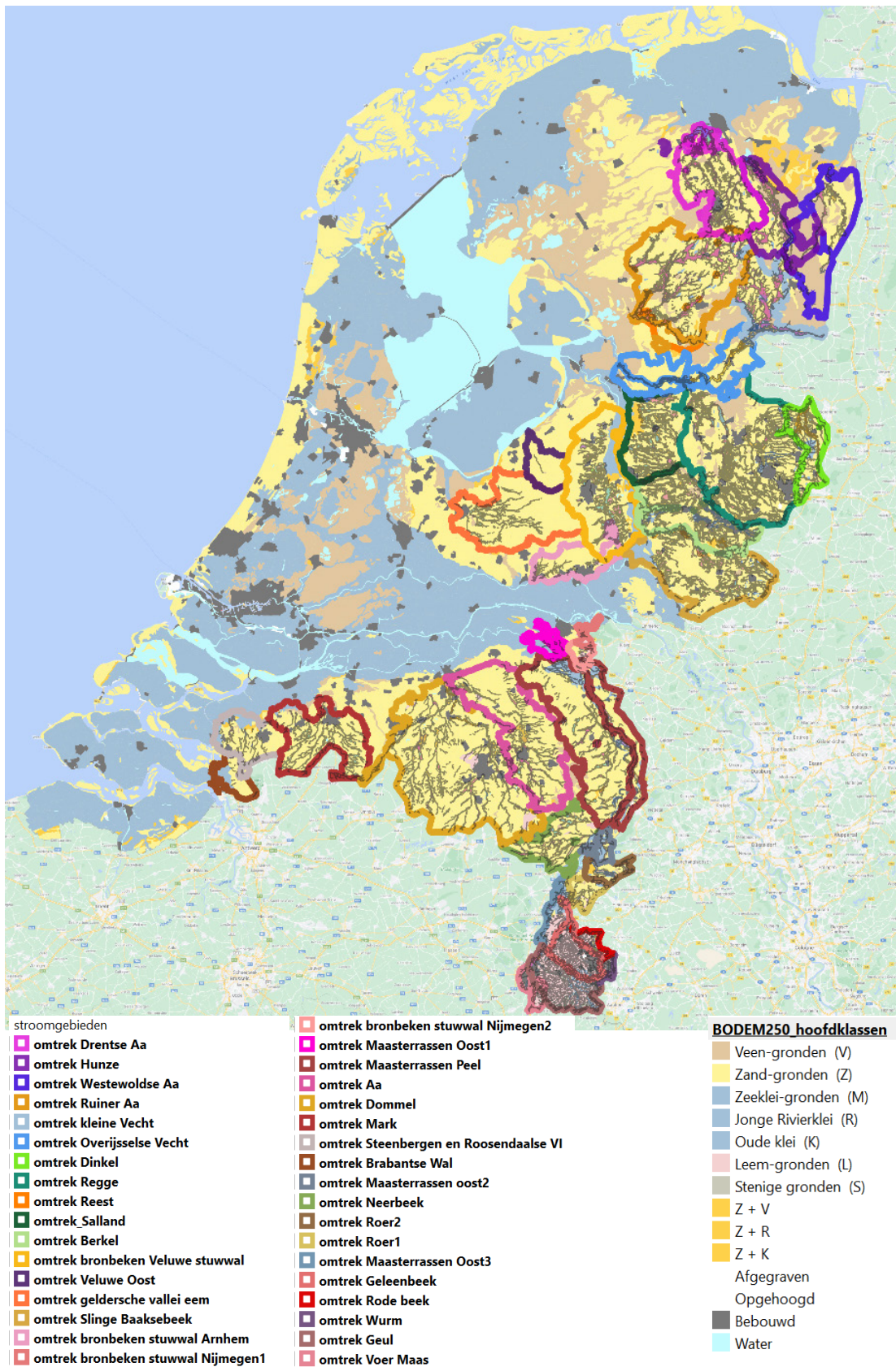


Figuur 3 In sommige beekdalen lopen beken nog in de geomorfologische beekdalen (bovenste figuur), in andere zijn watergangen sterk gemodificeerd (onderste figuur). Rode lijnen geven de loop van de huidige beken weer. De overige oppervlaktewateren in het gebied zijn met blauwe lijnen gemarkeerd.

Een ruimtelijke definitie van beekdalen die is gebaseerd op de hydrologie vraagt om een bredere begrenzing. De waterstromen die invloed hebben op de biogeochemische en ecologische processen in het beekdal zijn vaak niet beperkt tot het geomorfologische beekdal. Verondersteld wordt dat alle hydrologische bassins die in verbinding staan met de beek invloed kunnen hebben op de waterkwantiteit en -kwaliteit van het beekdal. Om de waterstromen die relevant zijn voor de wateraan- en afvoer in het beekdal in beeld te krijgen zijn de stroomgebieden van de beken in kaart gebracht op basis van de met het beekdal verbonden deelstroomgebieden en (grond)waterstromen (figuur 4). De geomorfologische begrenzing (beekdalenkaart) en de hydrologische begrenzing (stroomgebieden) zijn weergegeven in 'kaartlaag 1_stroomgebiedbegrenzing beekdalen' (figuur 5).



Figuur 4 Voorbeeld van deelstroomgebieden en hun connecties via waterstromen voor het stroomgebied van de Drentsche Aa (gebied binnen de roze lijn). De zwarte pijlen geven aan in welke richting het water afstroomt. De transparante groenblauwe onderlaag geeft het beekdal weer. Bron: Nederlands Hydrologisch Instrumentarium 2020.

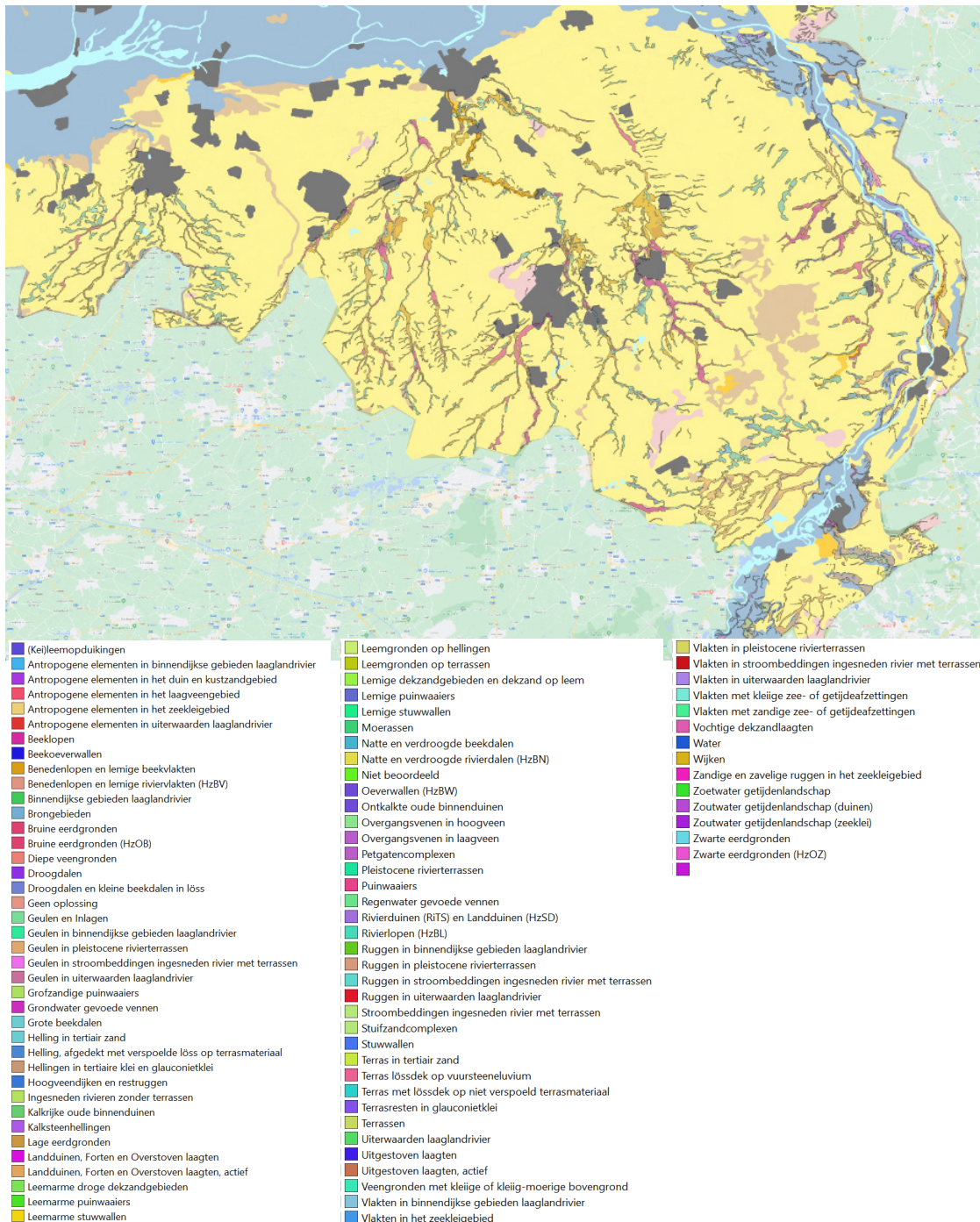


Figuur 5 Stroomgebieden met beken en beekdalen in hoog-Nederland. De gekleurde lijnen geven de contouren van de stroomgebieden weer. Bron: 'kaartlaag_1_stroomgebiedbegrenzing beekdalen'.

3.2 Morfologie en bodem-water-functies

3.2.1 Geomorfologie van beekdalen

De geomorfologische samenstelling van een beekdal wordt gedefinieerd door de combinatie van de voorkomende geomorfologische elementen en de oppervlakten die deze elementen innemen. Er is een kaartlaag aangemaakt voor de geomorfologische samenstelling van de bodem in de beekdalen om de geomorfologie voor de beekdalen te specificeren: 'kaartlaag 2_geomorfologie in beekdalen' (figuur 6).



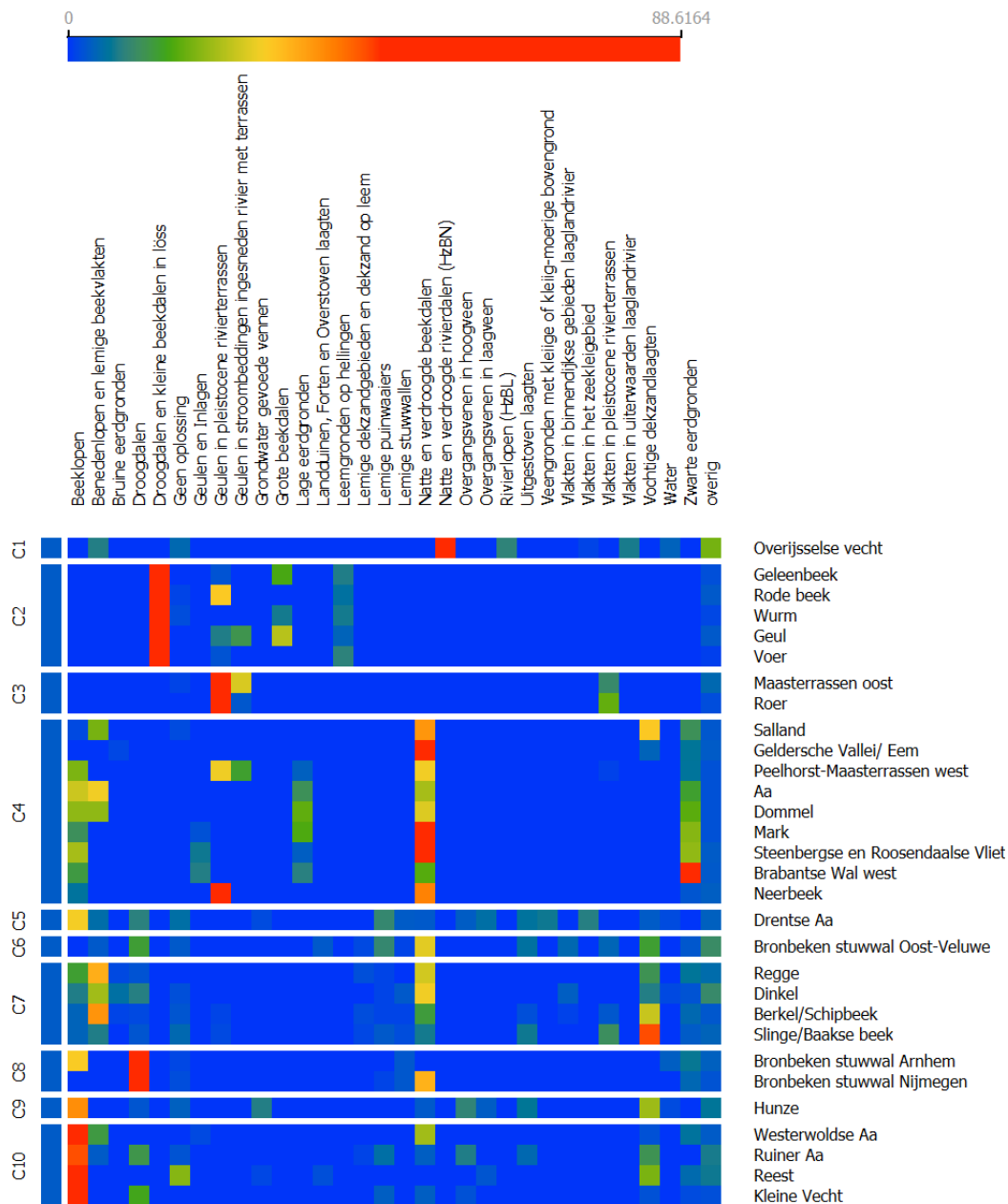
Figuur 6 Geomorfologie van de beekdalen op de hogere zandgronden in het deelgebied dat de provincie Noord-Brabant omvat. Bron: 'kaartlaag 2_geomorfologie in beekdalen'.

Deze ruimtelijke definitie geeft inzicht in de geomorfologische opbouw van de beekdalen en waar kansen liggen om natuurherstel bij de oorspronkelijke beekdalvorm aan te laten sluiten. De kaart kan ook ingezet worden voor een bredere verkenning van de geomorfologische samenstelling van meerdere beekdalen ten opzichte van elkaar. De in de kaart gespecificeerde oppervlakten van de geomorfologische elementen zijn vertaald naar een geomorfologische samenstelling voor ieder beekdal. Een vergelijking op basis van een clusteranalyse van deze geomorfologische samenstelling tussen de beekdalen leidt tot een onderscheid in tien verschillende groepen (figuur 7). Deze groepen kunnen als volgt gekarakteriseerd worden:

- De Overijsselse Vecht (cluster 1) wordt gekenmerkt door een relatief groot areaal rivierdalen, zowel nat als verdroogd.
- De Limburgse heuvellandbeken (cluster 2) worden gekarakteriseerd door droogdalen en kleine beekdalen met löss en het voorkomen van leemgronden op hellingen. De beperkte waterdoorlaatbaarheid van löss en leem in combinatie met de aanwezigheid van hellingen geeft een grotere kans op het optreden van oppervlakkige afstroming.
- De Maasterrassen Oost en Roer (cluster 3) worden gekenmerkt door een combinatie van geulen en vlakten op de pleistocene rivierterrassen.
- De Brabantse beekdalen (Brabantse Wal, Mark, Steenbergse en Roosendaalse Vliet, Aa, Dommel), de Neerbeek, de Peelhorst-Maasterrassen, Salland en de Gelderse Vallei (cluster 4) bestaan uit natte en verdroogde beekdalen met minerale zwarte eerdgronden en bevatten relatief veel beeklopen.
- De Drentsche Aa (cluster 5) en Veluwe bronbeken (cluster 6) zijn morfologisch gevarieerde beekdalen. De Drentsche Aa heeft net als de Noord-Nederlandse beekdalen een groot aandeel beeklopen, de Veluwe bronbeken bevatten meer natte en verdroogde beekdalen.
- De Slinge/Baakse beek, Berkel/Schipbeek, Regge en Dinkel (cluster 7) bestaan uit benedenlopen en lemige beekvlakten, vochtige dekzandlaagten en zowel natte als verdroogde beekdalen.
- De bronbeken op de stuwwallen van Arnhem en Nijmegen (cluster 8) onderscheiden zich op basis van de aanwezigheid van veel droogdalen.
- De Hunze (cluster 9) lijkt sterk op de beekdalen in cluster 10, maar bevat meer vochtige dekzandlaagten.
- De Noord-Nederlandse beekdalen van de Reest, Ruiner Aa, Westerwoldse Aa en de Kleine Vecht (cluster 10) zijn een groep met relatief veel beeklopen.

De clusters 4 en 7 bevatten de langzaam stromende beken met beekdalen die een grote oppervlakte beslaan, een laag verhang hebben en gekenmerkt worden door de aanwezigheid van vochtige dekzandlaagten. In de clusters 9 en 10 zijn de beeklopen juist het dominante element. De stuwwalbeken en Limburgse heuvellandbeken bevatten veel droogdalen. De Limburgse heuvellandbeken (cluster 2) bevatten naast droogdalen ook veel kleine beekdalen met löss en bieden niet veel ruimte of hebben de geschikte bodemkarakteristieken om water te laten infiltreren of om water te bergen.

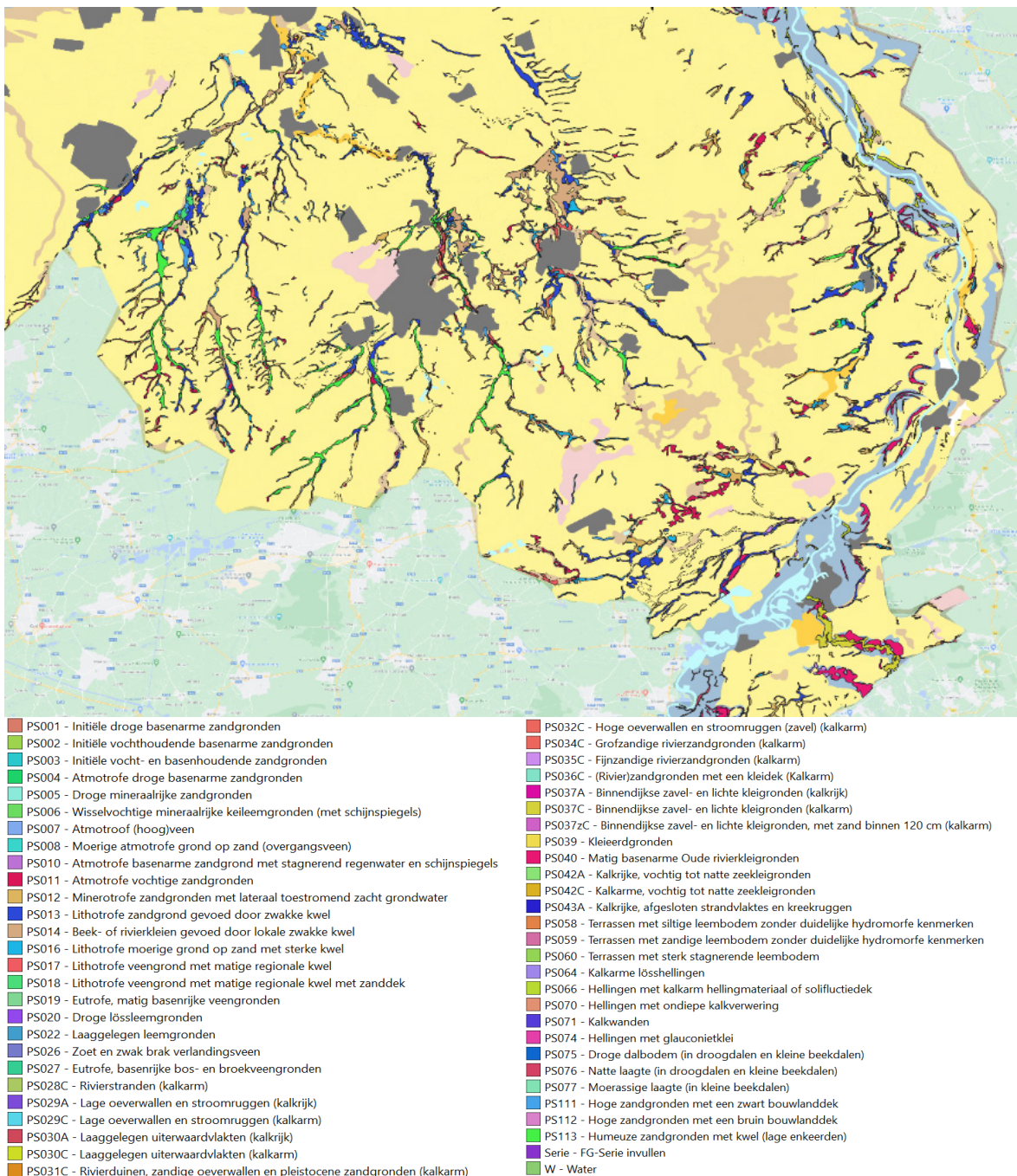
Het is moeilijk om alleen op basis van geomorfologie te verkennen wat de potentie van beekdalen als klimaatbuffer is. Verder in dit hoofdstuk zullen verschillende geanalyseerde aspecten gecombineerd worden om hier een indicatie van te krijgen.



Figuur 7 Heatmap voor de clusterresultaten (Ward clustering, 58.4% height ratio) van beekdalen op basis van de geomorfologie (areaal geomorfologische elementen). De waarden voor de geomorfologische elementen zijn weergegeven als een raster van gekleurde vierkanten. De kleur van elke cel geeft het waardebereik van een element aan. In deze figuur correspondeert blauw met een lage vertegenwoordiging van de geomorfologische elementen (weergegeven in de kolommen) in het beekdalcluster uit de corresponderende rij, voor de gele en rode vlakken is de vertegenwoordiging van het element groter.

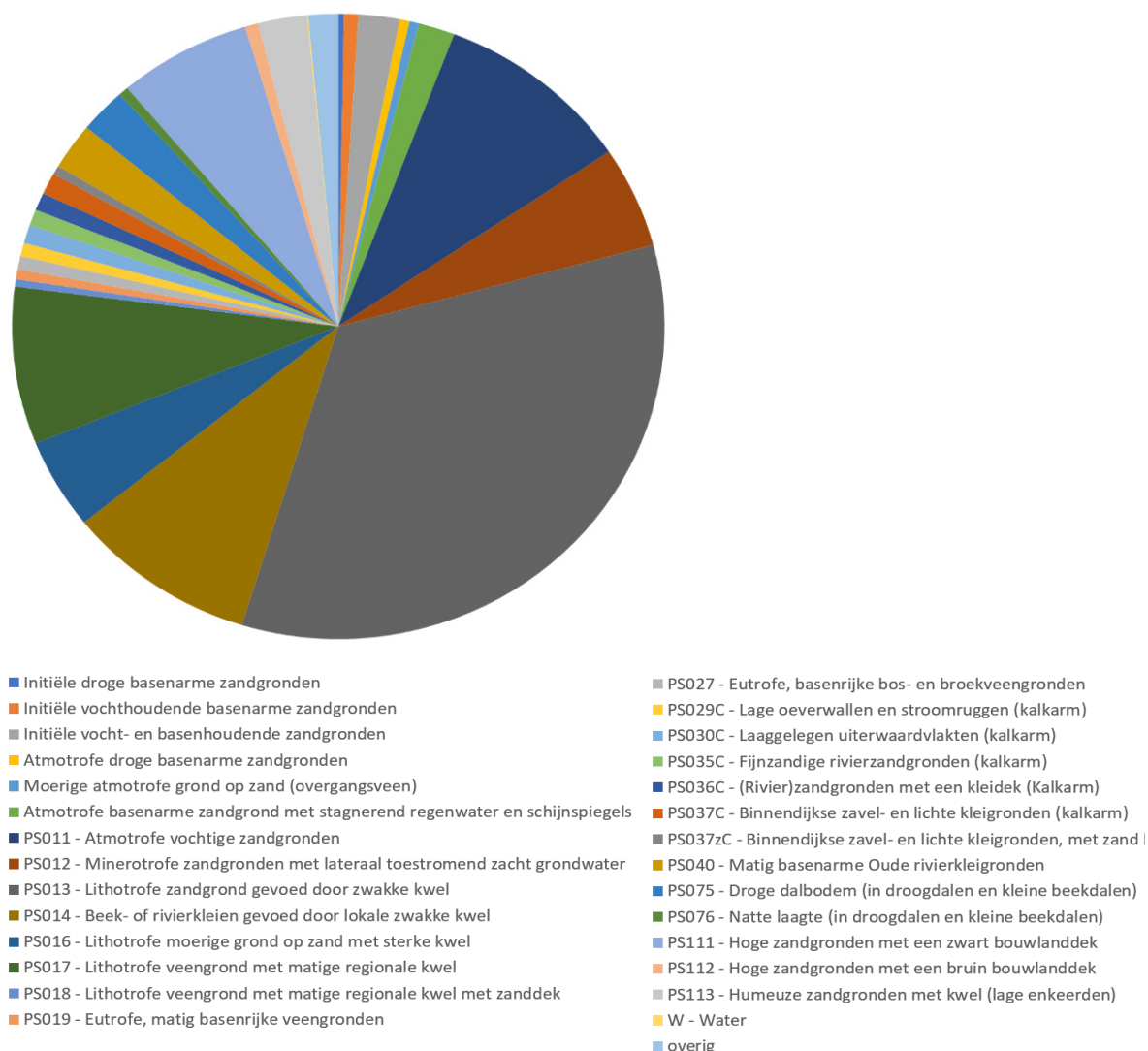
3.2.2 Hydromorfologische bodemkarakteristieken in beekdalen

Om geomorfologie te vertalen naar bodem-water-functies is gebruikgemaakt van een kaart waarop de geomorfologie via fysisch-geografische elementen verder gespecificeerd is naar de hydromorfologische aspecten van de beekdalbodems (Van Delft & Maas, 2015). Deze kaart is in dit project uitgewerkt voor de beekdalen op de hogere zandgronden ('kaartlaag 3_hydromorfologie in beekdalen', figuur 8).



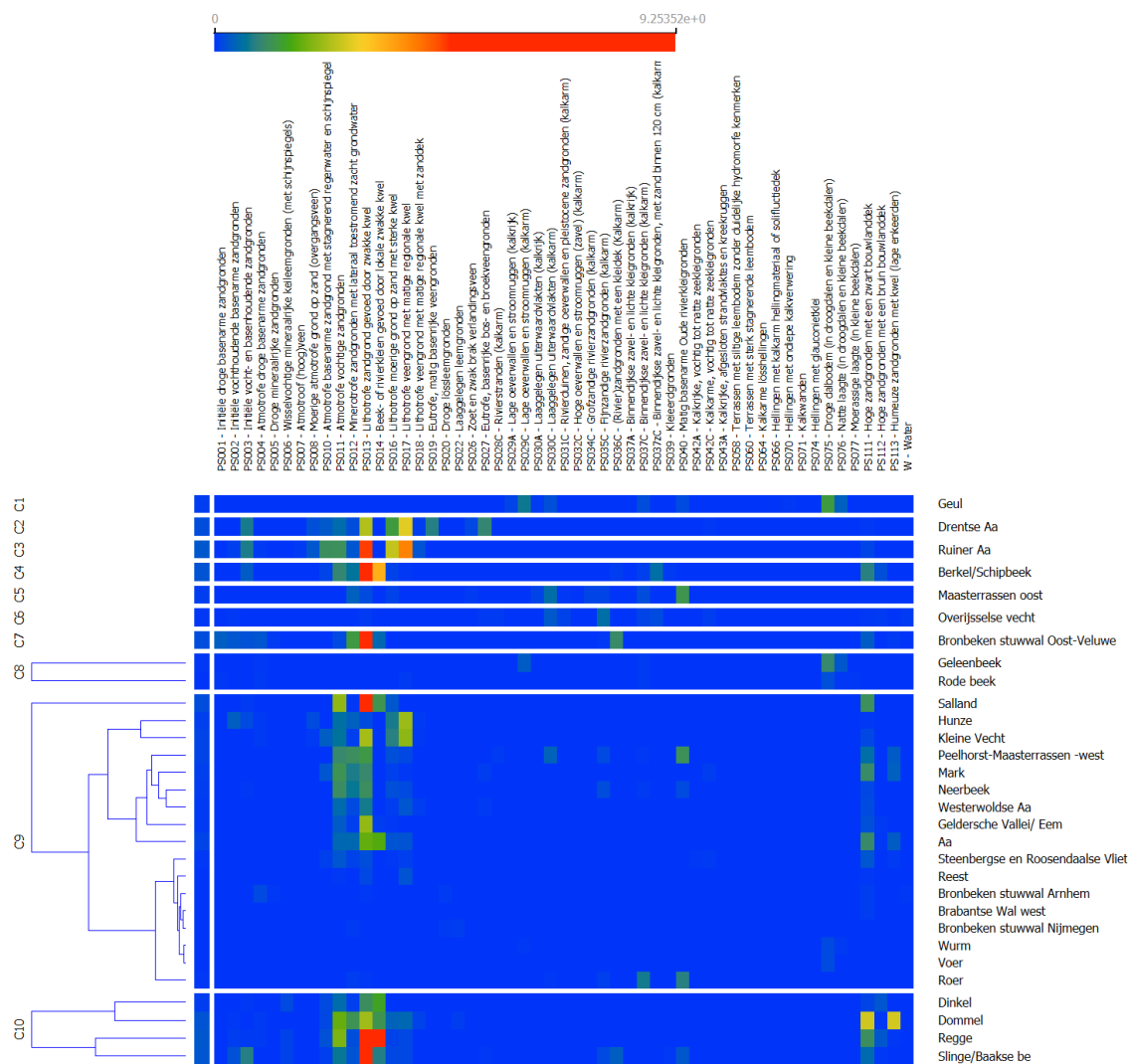
Figuur 8 Voorbeeld van fysisch-geografische elementen gerelateerd aan de hydromorfologische eigenschappen van de bodems in beekdalen op hogere zandgronden in het deelgebied Noord-Brabant. Bron: 'kaartlaag 3_hydromorfologie in beekdalen'.

Voor ieder beekdal is een hydromorfologische samenstelling gemaakt op basis van de fysisch-geografische elementen die in het beekdal voorkomen en het areaal dat de elementen innemen. De categorie 'lithotrofe zandgrond gevoed door zwakke kwel' beslaat het grootste oppervlakte in beekdalen (figuur 9). Daarnaast komen rivierkleigronden, rivierzandgronden, moerige gronden en veengronden veel voor.



Figuur 9 Vertegenwoordiging van fysisch-geografische elementen gerelateerd aan hydromorfologie in de onderzochte beekdalen. De verdeling is gebaseerd op het totale areaal dat ieder element inneemt. Bron: 'kaartlaag 3_hydromorfologie in beekdalen'.

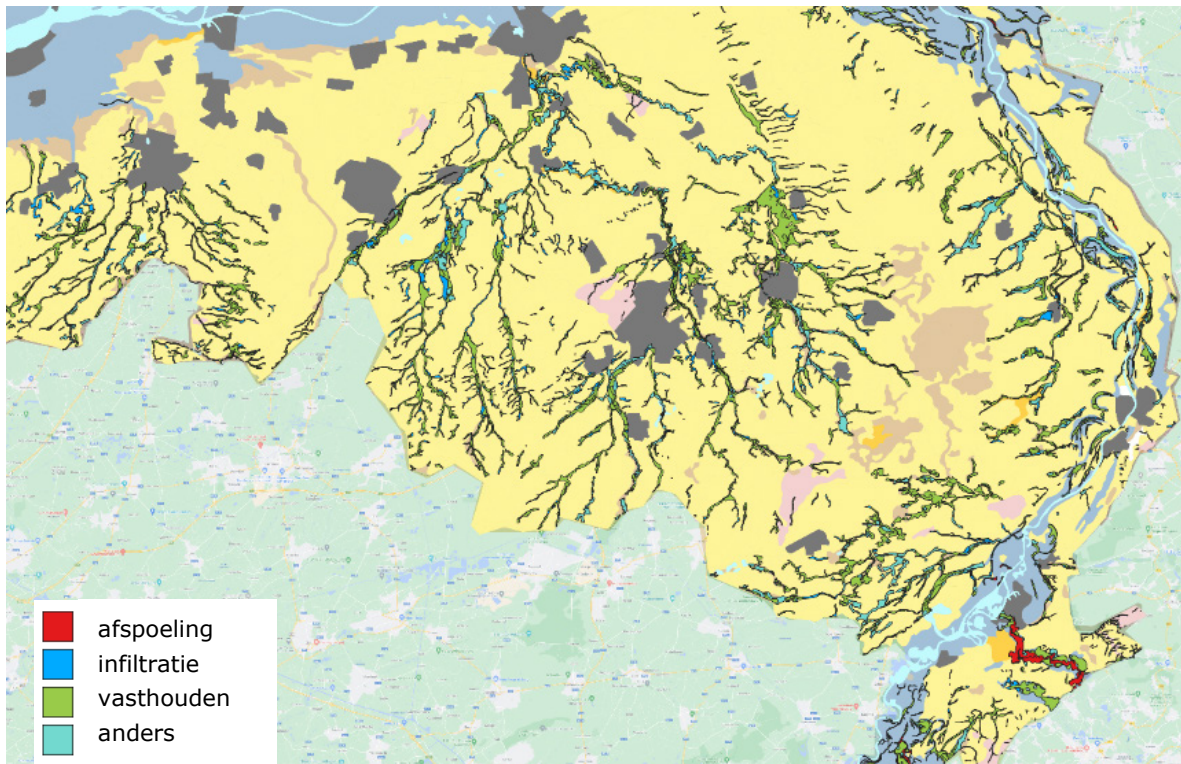
De fysisch-geografische samenstelling is onderling voor de verschillende beekdalen vergeleken in een clusteranalyse (figuur 10). Veel clusters bevatten slechts één beekdal (Geul, Drentsche Aa, Ruiner Aa, Berkel/Schipbeek, Maasterrassen Oost, Overijsselse Vecht, bronbeken stuwwal Oost-Veluwe, Rode beek en Geleenbeek) en hebben daarmee een karakteristieke samenstelling. Door zwakke kwel gevoede systemen karakteriseert de beekdalen bronbeken Veluwe, Dinkel, Regge, Berkel/Schipbeek, Slinge/Baakse beek en Salland. De Drentsche Aa en Ruiner Aa bevatten delen met een zwakke toestroom van kwel, delen met moerige gronden met sterke kwel en delen met veengronden met matige regionale kwel. De Dommel wordt gevoed door lateraal toestromend grondwater en zwakke kwel en bevat in vergelijking met de andere beekdalen meer minerale en humeuze gronden. Voor de Geul, Geleenbeek en Rode beek zijn droge dalbodems en kalkarme lage oeverwallen en stroomruggen karakteristiek.



Figuur 10 Overzichtsfiguur met de clusterresultaten (Ward clustering, 60.1% height ratio) van beekdalen aan de hand van fysisch-geografische elementen (areaal). De heatmap geeft waarden voor de variabele hydromorfologie weer. De kleur van elke cel geeft het waardebereik aan. In deze figuur correspondeert blauw met een lage vertegenwoordiging van de hydromorfologische elementen (weergegeven in de kolommen) in het beekdalcluster uit de corresponderende rij, voor de gele en rode vlakken is de vertegenwoordiging van het element sterker.

3.2.3 Potentiële bodem-water-functies in beekdalen

De aangemaakte kaartlaag met potentiële bodem-water-functies in beekdalen ('kaartlaag 4_bodemwaterfuncties in beekdalen', figuur 11) geeft op basis van hydromorfologische bodem-karakteristieken aan welke gebieden ingezet kunnen worden ten behoeve van infiltratie of het vasthouden van water en in welke gebieden water af zal stromen. De via de kaartlaag gekwantificeerde arealen voor deze bodem-water-functies in beekdalen zijn weergegeven in tabel 1. De bodem-water-functies zijn als percentage van het geheel weergegeven. De laatste kolom geeft aan wat het totaal areaal per beekdal op de kaart is waarvoor bodem-water-functies aangegeven konden worden. Fysisch- geografische elementen die niet aan één van de drie bodem-water-functies gerelateerd konden worden zijn gekwantificeerd als de categorie 'geen specificatie'. Voor de bronbeken op de stuwwallen van Arnhem en Nijmegen, de Hunze, Overijsselse Vecht, Westewoldse Aa en de Wurm kan met de gekozen aanpak een groot deel van het areaal niet gespecificeerd worden aan bodem-water-functies. Daarnaast is 11.000 ha op de kaart niet gespecificeerd naar beekdalstroomgebied. Daarmee blijft de vertaling naar bodem-water-functie voornamelijk indicatief.



Figuur 11 Voorbeeld van potentiële waterfuncties van bodems in beekdalen op hogere zandgronden in het deelgebied Noord-Brabant. Objecten zonder hydromorfologische specificatie of met de specificatie 'water' zijn in de categorie 'anders' geplaatst. Bron: 'kaartlaag 4_bodemwaterfuncties in beekdalen'.

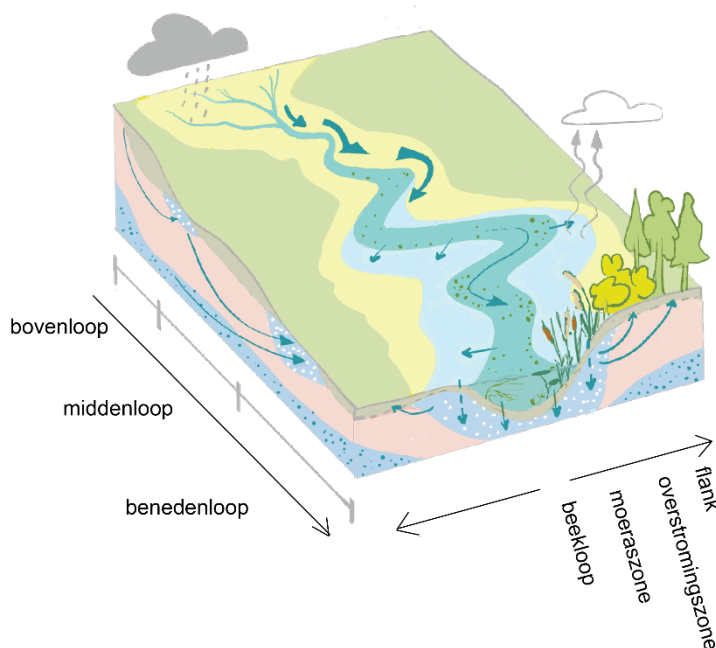
Voor de meeste beekdalen is een groot percentage van het areaal geschikt voor infiltratie en/of het vasthouden van water. Dit geeft aan dat de meeste beekdalen bij een natuurlijk functioneren een waterbergende functie kunnen vervullen. Grote beekdalen als Berkel/Schipbeek, bronbeken stuwwal Oost-Veluwe, Dommel, Drentse Aa, Regge, Ruiner Aa, Salland, Slinge/Baakse beek en Dommel bevatten grote arealen aan bodems die het vasthouden van water mogelijk maken. Voor de Limburgse heuvellandbeken, de Brabantse Wal west, de bronbeken op de Arnhemse stuwwal en de Overijsselse Vecht is de potentie voor infiltratie groter dan voor het vasthouden van water. Voor geen van de beekdalen is een overwegend afspoelende bodemlaag gevonden. Er bestaat dus in ieder beekdal een potentie voor het herstel van de natuurlijke hydrologische beekdalprocessen.

Tabel 1 Overzicht van het potentiële areaal voor de bodem-water-functies in beekdalen met betrekking tot afspoeling, infiltreren van water en water vasthouden. Om het potentieel van het beekdal voor afspoeling, infiltratie en vasthouden van water binnen het beekdal te analyseren is voor deze bodem-water-functies het relatieve areaal (%) per beekdal weergegeven. De laatste kolom geeft aan hoeveel areaal in het beekdal beschikbaar is. De dominante bodem-water-functies binnen het beekdal zijn met blauw gemarkeerd.

Beekdal	Afspoeling (%)	Infiltratie (%)	Vasthouden (%)	Ongespecificeerd (%)	Totaal beschikbaar areaal beekdal (ha)
Aa	0.00	13.81	67.48	18.71	7576.13
Berkel/Schipbeek	3.93	6.04	66.84	23.19	17668.69
Brabantse Wal west	0.00	54.44	17.83	27.73	122.50
Bronbeken stuwwal Arnhem	4.95	27.21	5.20	62.64	955.01
Bronbeken stuwwal Nijmegen	14.15	4.83	36.61	44.41	338.68
Bronbeken stuwwal Oost-Veluwe	8.57	8.75	66.64	16.04	11872.82
Dinkel	0.00	8.27	70.01	21.72	4920.30
Dommel	0.00	16.34	61.60	22.06	16462.33
Drentse Aa	0.00	0.23	81.91	17.86	12607.25
Geldersche Vallei/ Eem	0.00	6.70	68.17	25.14	3850.98
Geleenbeek	2.67	57.90	12.98	26.44	2313.69
Geul	7.31	59.67	23.72	9.30	3527.27
Hunze	0.00	1.04	58.31	40.65	8163.82
Kleine Vecht	0.00	2.37	77.61	20.03	8077.95
Maasterrassen oost	4.31	6.22	58.48	30.99	4357.47
Mark	0.00	17.78	65.46	16.76	5782.75
Neerbeek	0.69	6.30	60.68	32.34	5585.77
Overijsselse Vecht	5.57	15.87	10.59	67.96	5086.23
Peelhorst-Maasterrassen -west	0.40	8.85	61.19	29.56	9046.30
Reest	0.00	6.85	58.49	34.65	724.92
Regge	0.00	7.93	77.88	14.19	17903.66
Rode beek	8.69	44.11	21.94	25.27	642.04
Roer	33.63	4.41	45.10	16.86	2126.68
Ruiner Aa	0.00	0.93	80.14	18.93	18638.36
Salland	0.02	9.84	80.87	9.27	11504.55
Slinge/Baakse beek	2.40	4.56	83.53	9.51	15323.88
Steenbergen en Roosendaalse Vliet	0.00	20.12	67.21	12.67	1335.36
Voer	0.75	80.57	10.16	8.53	216.13
Westerwoldse Aa	0.00	5.70	55.81	38.49	3228.71
Wurm	0.95	44.82	10.14	44.09	418.80
Overig	17.68	43.66	7.64	31.02	2227.63
Geen data	0.00	3.69	88.65	7.66	8861.15

3.3 Beekdalfunctioneren

In diverse studies worden de principes van sponswerking van het beekdal, het hydrologisch functioneren en de effecten van klimaatverandering en landgebruik op het ecologisch en hydrologisch functioneren van beekdalen uitgelegd (Aggenbach et al. 2009, Aggenbach et al. 2009a, Verdonschot 2010, Verdonschot et al. 2010, en STOWA 2020). In ongestoorde toestand bestaat een beekdal uit een geleidelijke overgang tussen de beek en het omliggende land (Verdonschot 2010). Deze overgang vormt een transversale gradiënt waarin verschillende zones te onderscheiden zijn die samen het beekdal vormen van de beekloop naar de flank van het dal: grofweg van laag naar hoog met een zone permanent natte omstandigheden (water op of boven maaiveld, moeras), een periodiek natte zone (overstromingszone) en een droge zone (flank) (figuur 12). De breedte van beekdalen kan variëren van enkele tientallen meters tot enkele kilometers, afhankelijk van de topografie van het beekdal. Ook zijn niet alle zones standaard in alle beeksystemen aanwezig. De hogere delen buiten het feitelijke beekdal vormen de infiltratiezones. In de natuurlijke situatie is hier geen drainage aanwezig, waardoor hier het neerslagoverschot infiltreert. Dit vult zo het grondwater aan, wat vervolgens weer in het beekdal aan de oppervlakte komt (Verdonschot et al. 2017a). Het beekdal is essentieel voor het ecologisch en hydrologisch functioneren van de beek en vice versa heeft de beek grote invloed op het functioneren van het beekdal (Verdonschot 2010, Verdonschot et al. 2010, Verdonschot et al. 2017a). Dit varieert van effecten op de waterkwaliteit, slibafzetting, vegetatieontwikkeling, structuurvorming, stromingspatronen, temperatuur enzovoorts (Aggenbach et al. 2009, Verdonschot 2010).

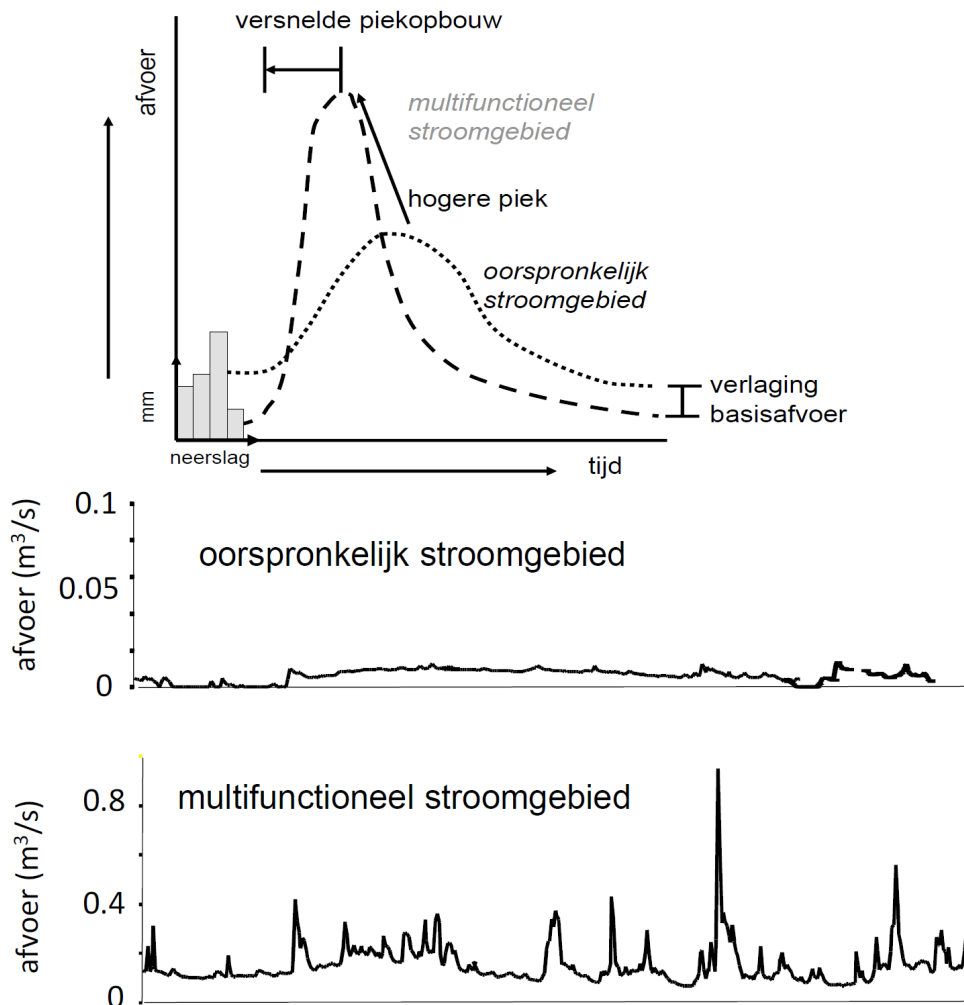


Figuur 12 Weergave van de transversale en longitudinale gradiënten in een beekdal en bijbehorende zones: in blauw de zone direct grenzend aan de beekloop, met permanent natte omstandigheden (water op of boven maaiveld, moeras), in geel een periodiek natte zone (overstromingszone) en in groen een hoger gelegen droge zone (flank).

Natuurlijke beekdalen hebben een groot waterbergend vermogen. Neerslag wordt opgevangen op de flanken van het beekdal en vertraagd afgevoerd door tijdelijke berging in de inundatiezones. Tijdens perioden met hogere afvoeren overstroomt het beekdal, waarna dit water langzaam weer afgegeven wordt naar benedenstrooms en/of het grondwater aanvult wanneer het in de bodem infiltreert. De beekdalen fungeren dus als buffers, die via de 'sponswerking' van het systeem water voor langere tijd beschikbaar houden. In deze vorm is er een efficiënte klimaatbufferwerking, omdat er bij veel neerslag sprake is van een directe waterberging in het beekdal, waardoor piekafvoeren sterk gedempt worden. In natuurlijke beeksystemen is de afvoer dan ook relatief stabiel. Tegelijkertijd zorgt de 'sponswerking' in het beekdal ervoor dat in tijden van droogte het grondwater op peil blijft en vertraagd afstroomt naar de lagere delen omdat water langzaam wordt

afgegeven. Naast het beekdal speelt ook de sterke infiltratie in de hogere delen van het systeem een belangrijke rol als buffer die het grondwater op peil houdt. In natuurlijke beken ligt de basisafvoer daardoor ook permanent relatief hoog en treden er weinig schommelingen in de afvoer op (figuur 13). Deze beekdalprocessen zijn van groot belang voor het opvangen van verwachte klimaateffecten (Verdonschot et al. 2017a). Enkele klimaateffecten voor de beekdalen op de hogere zandgronden zijn:

- opwarming van het beekwater bij hoge luchttemperaturen;
- wegvallen van stroming bij te weinig afvoer in droge perioden, verdroging van het beekdal en bij aanhoudende droogte complete verdroging van de beek;
- erosie van de beekbedding en het wegspoelen van substraat en organismen bij piekafvoeren;
- het optreden van wateroverlast (vaak meer benedenstrooms) in het dal wanneer bij piekafvoeren de beek buiten haar oevers treedt.



Figuur 13 Versnelde (boven) en meer dynamische (onder) afvoer in een stroomgebied onder de huidige omstandigheden vergeleken met de oorspronkelijke natuurlijke situatie. Bron: Verdonschot et al. (2017).

Als gevolg van intensief gebruik is een groot deel van de beekdallandschappen ingericht op een zo efficiënt mogelijke afvoer van water (STOWA 2020, Verdonschot et al. 2017a). Hierdoor is minder ruimte voor het beekstelsel en wordt de sponswerking (de eigenlijke klimaatbuffer) gehinderd (figuur 13). Wanneer bijvoorbeeld ruimte voor overstrooming en mogelijkheden voor infiltratie en water vasthouden ontbreken in een beekdal kan een hoge beekafvoer als gevolg van langdurige en intensieve neerslag niet worden opgevangen en treedt benedenstrooms wateroverlast op. Omdat het gevallen water snel wordt afgevoerd is het water in tijden van droogte niet beschikbaar als buffer. Het grondwater zal te ver wegzakken om de beekafvoer op peil te kunnen houden. Dit proces wordt nog eens versterkt door de drainagemiddelen die op

de hogere gronden worden ingezet om water zo snel mogelijk af te voeren, waardoor een groot deel van het neerslagoverschot niet infiltreert maar versneld wordt afgevoerd via het oppervlaktewater. Er is daardoor geen buffer aanwezig om het grondwater op peil te houden in een droge periode.

Bij klimaatverandering nemen de problemen voor de gebruiksfuncties in beekdalen toe met betrekking tot waterbeschikbaarheid of wateroverlast (STOWA 2020). Steden, dorpen en landbouwpercelen in de lagere delen van het beekdal lopen het risico te overstromen, terwijl landbouwbedrijven op de flanken en op de hogere delen juist kampen met verdroging. Het ervaren van klimaat- en watergerelateerde problemen in een beekdal hangt daarmee af van zowel de ruimtelijke positie in het beekdal als de mate waarin het beekdal gedegradeerd is (de gebruiksfuncties).

Als reactie op de ervaren problemen zullen gebruikers van het beekdal maatregelen treffen om hun gebruiksfuncties zo lang mogelijk in stand te kunnen houden. Dit zorgt in veel gevallen voor zogenoemde 'feedback loops' die de effecten verergeren. Akkerbouwers zullen bijvoorbeeld hun gewassen steeds vaker en langer gaan beregenen om droogteschade te voorkomen. Als gevolg van de toegenomen grondwateronttrekking zal de grondwaterbeschikbaarheid steeds verder afnemen, waardoor de verdroging van het beekdal toeneemt. Ook het steeds verder beperken van de overstromingsruimte van beken omdat de ruimte voor andere functies nodig is, geeft een toename van de problemen met wateroverlast benedenstrooms. Er ontstaat een zichzelf versterkend effect: een vicieuze cirkel waarin de schade voor alle partijen, urbaan, landbouw en natuur, steeds groter wordt bij voortschrijdende klimaatverandering.

3.4 Ecohydrologische typologie van beekdalen

De ecohydrologische beekdaltypen en aquatisch-ecologische beektypen zijn door Aggenbach et al. (2009) met elkaar in verband gebracht door aan te geven welke ecohydrologische beekdaltypen met welke aquatisch-ecologische beektypen voorkomen. Onderscheid tussen de verschillende typen berust op hydrologische, morfologische en fysisch-chemische aspecten van (onderdelen) van beekdalen. Hier zitten ook parameters bij die moeilijk ruimtelijk te definiëren zijn, zoals basenrijkdom, permanentie, stroomsnelheid, onderscheid tussen lokale en regionale kwel, overstroming en voedselrijkdom. Ook morfologische kenmerken die op kleinere ruimtelijke schaal, binnen het beekdal, belangrijk zijn voor het hydrologisch en ecologisch functioneren van een beek zijn moeilijk te definiëren op landelijke kaarten met een ruimtelijke schaal van >5 m. In deze categorie vallen parameters als hellingshoek, insnijding, begroeiing, zonerings- en morfologische degradatie. Dit beperkt de mogelijkheden voor het opstellen van een betrouwbare kanskaart voor het aanpakken van wateropgaven via natuurherstel. Voor een gedegen verkenning is een vervolgstap in de vorm van gebiedsstudies essentieel. De huidige aanpak moet daarom vooral worden gezien als een verkenning op typologieniveau.

De ecohydrologische typering kan op hoofdlijnen ruimtelijk weergegeven worden door deze te koppelen aan biogeografische patronen voor aquatische organismen volgens de indeling van Nederland in hydrobiologische districten (Mol 1986). Beide typologieën hebben een sterke relatie met de functionaliteit van beken. De hydrobiologische districten van Nederland (Mol 1986) maken de koppeling naar ecologische functionaliteit via verspreidingspatronen van aquatische organismen. Dit is een ruimtelijke benadering waarmee de ecohydrologische typologie omgezet kan worden naar een beekdaltypenkaart. Omdat verspreidingskaarten voor aquatische organismen niet compleet vlakdekkend beschikbaar zijn, is de biogeografische indeling van aquatische soorten in districten gebaseerd op factoren die de verspreiding van deze soorten bepalen (Mol 1986, Higler en Mol 1984). Dit zijn enerzijds goed meetbare factoren gerelateerd aan de geschiktheid van biotopen, zoals de chemische samenstelling van het water. Anderzijds wordt de verspreiding beïnvloed door factoren die niet eenvoudig achterhaald of gemeten kunnen worden en samenhangen met soortspecifieke eigenschappen. Denk aan eigenschappen als kolonisatievermogen, gevoeligheid voor een bepaalde temperatuur- of daglengtesom, of concurrentiepositie.

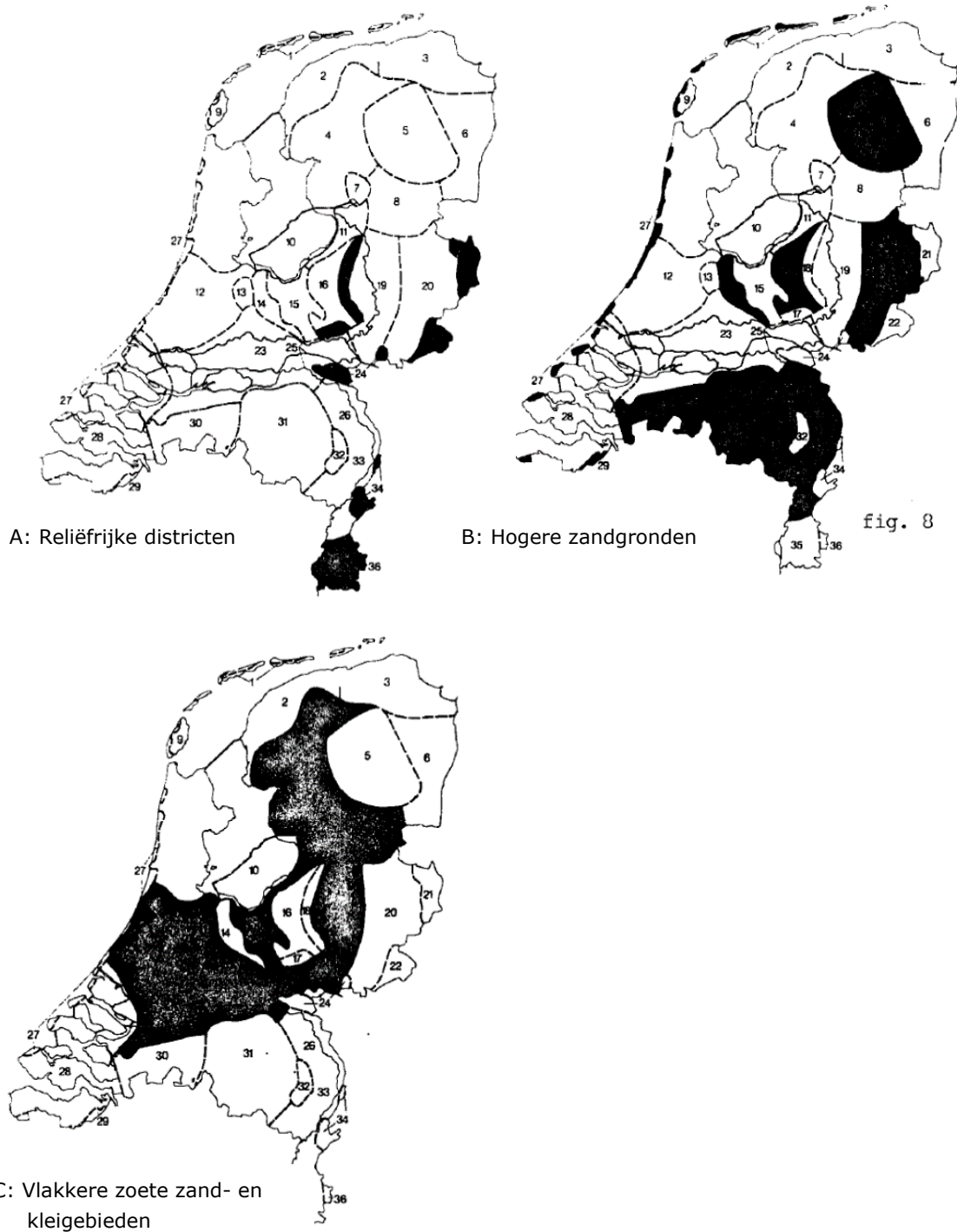
Uit de indeling van de hydrobiologische districten blijkt een duidelijke relatie tussen de geomorfologie van een gebied en de aquatische milieutypen. Reliëf en bodemsamenstelling bleken twee belangrijke factoren, die in dit project reeds geprojecteerd zijn op de beekdalen op basis van de geomorfologische kaart van

Nederland ('kaartlaag 2_geomorfologie in beekdalen' & 'kaartlaag 3_hydromorfologie in beekdalen', figuren 6 en 8).

De beekdalen op hogere zandgronden maken deel uit van drie samengestelde groepen districten, te weten de: a.) reliëfrijke districten, b.) hoger gelegen zandgronden, en c.) lager gelegen zoete zand- en kleigebieden (figuur 14). De beektypen van reliëfrijke gebieden omvatten heuvellandbeken, bronbeekbovenlopen, bronnen en spreng(kopp)en. Op de hogergelegen zandgronden komen vooral permanent wervoerende laaglandbeken en semi-permanente tot tijdelijke beken voor met een duidelijke loop en relatief hoge stroomsnelheden. In de vlakke zand- en kleigebieden zijn langzaam stromende permanente tot semi-permanente laaglandbeken te vinden, die bij zeer weinig verhang de vorm van doorstroommoerassen of moerasbeken hebben.

Reliëf blijkt een belangrijke factor voor de functionaliteit van beekdalen en voor de verkenning naar wateropgaven in beekdalen, omdat de vorm van stroomgebieden van beken en rivieren, stroomsnelheden en de hoeveelheid toestroom van water erdoor worden bepaald. Deze factor komt tot uiting in de indeling van de hydrobiologische districten en is meegenomen in de ruimtelijke bekentypologie. In combinatie met informatie over de bodemsamenstelling (Kemmers et al. 2011, 'kaartlaag 2_geomorfologie in beekdalen'), hydrologische eigenschappen van de bodem (Van Delft & Maas 2015, 'kaartlaag 3_hydromorfologie in beekdalen'), hoogteligging (AHN3-hoogtekaart) en de Nederlandse hydrobiologische districten (Mol 1986) is op hoofdlijnen te duiden waar de verschillende ecohydrologische beektypen voorkomen. Tabel 2 geeft een overzicht van de ruimtelijke beektypologie en de achtergrond hiervan.

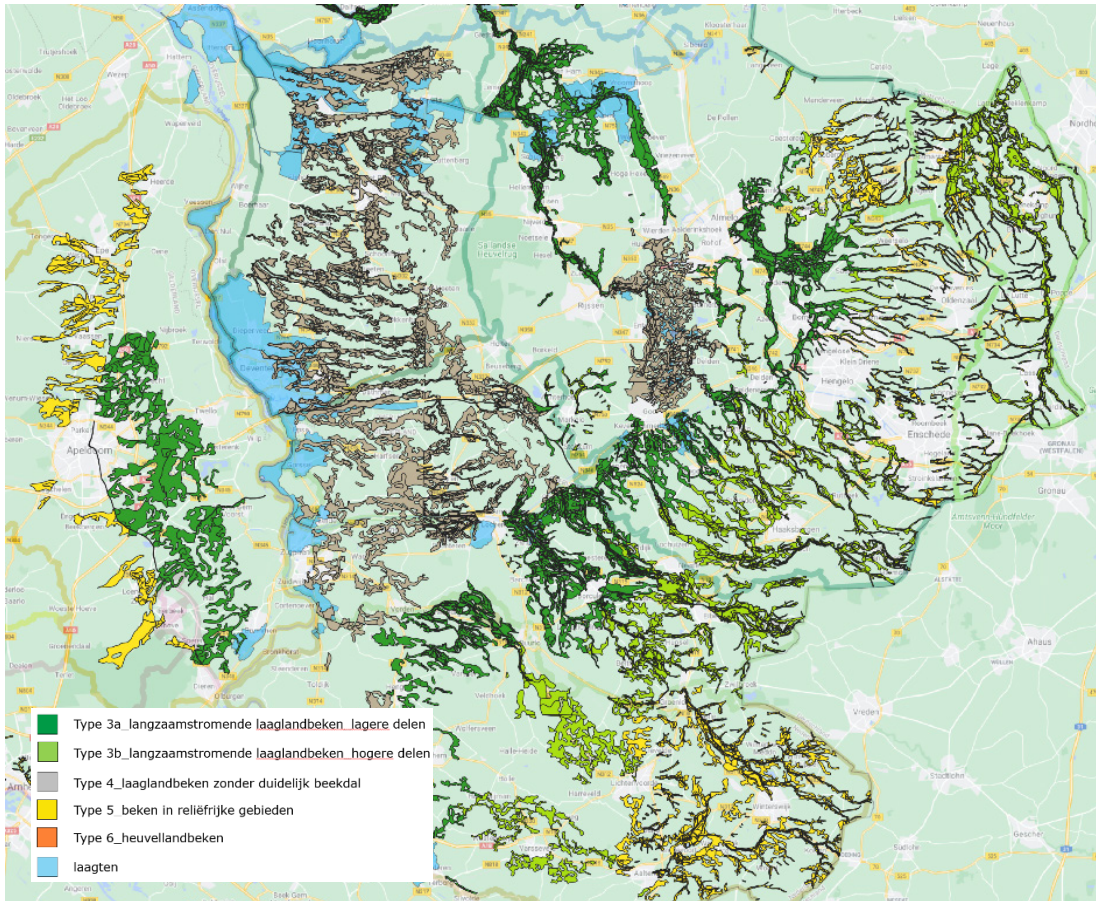
De ruimtelijke vertaling van de ecohydrologische typologie voor beekdalen op hogere zandgronden is weergegeven in figuur 15 en wordt beschreven in tabel 2. Beektype 1: 'Natte infiltratiegebieden met lokale kwel' en beektype 2: 'Afvoerloze laagte' van Aggenbach et al. (2009) zijn niet ruimtelijk te duiden op een landelijke kaart met een schaal van 5 x 5 m. Het gaat hierbij om plekken in het beekdal waar het water permanent tot periodiek op of boven het maaiveld staat en plekken met (doorstroom)moerassen. Omdat laagten in het algemeen wel belangrijk zijn om ruimtelijk te duiden voor de verkenning van de wateropgaven en het maken van een kanskaart is een kaartlaag gemaakt waarin de laagten in stroomgebieden zijn aangegeven op basis van hydrologische toestroompunten en hoogtelijnen (blauwe gebieden in figuur 15, 'kaartlaag 6_laagten').



Figuur 14 Geomorfologische groepen van hydrobiologische districten waartoe beekdalen op de hogere zandgronden behoren. De cijfers refereren naar de 36 verschillende hydrobiologische districten in Mol (1986).

Tabel 2 Ecohydrologische typologie beekdalen op hogere zandgronden met de bijbehorende kenmerken per type.

ruimtelijk eco-hydrologisch type t.b.v. watervragen	hydrobiologische districten	Aggenbach hydro-ecologisch beekdaltype	Aggenbach kenmerken
type 3a: langzaamstromende laaglandbeken_lage delen (midden- en benedenlopen)	hogere zandgronden, en lagere zoete zand- en kleigebieden	type 3_weinig hellende beekdalen met kwel	3a-c_weinig hellende beekdalen met kwel
type 3b: langzaamstromende laaglandbeken_hoge delen (boven- en middenlopen)	hogere zandgronden	type 3_weinig hellende beekdalen met kwel	3a-c_weinig hellende beekdalen met kwel
type 4: langzaamstromende beek zonder duidelijk beekdal, (doorstroommoeras en moerasbeek)	lagere zoete zand- en kleigebieden	type 4_weinig hellende, vlakke beekdalen met sterke (voormalige) slibafzetting	4a_inunderende benedenlopen of riviertjes
type 5: beken in reliëfrijke gebieden	reliëfrijke districten, hydrobiologische districten nr. 34, 24, 22, 21, 18, 17	type 5_sterk hellende hoge beekdalen met kwel type 6_sterk hellende lage beekdalen met kwel	5a_droogvallende stromende tot snel stromende bronnen of bovenloopjes 5b_permanente stromende tot snel stromende bronnen of bovenloopjes 5c_permanente stromende tot snel stromende boven- en middenlopen
type 6: heuvellandbeken	reliëfrijke districten in Zuid-Limburg, hydrobiologisch district nr. 36		6a_snelstromende benedenlopen en riviertjes

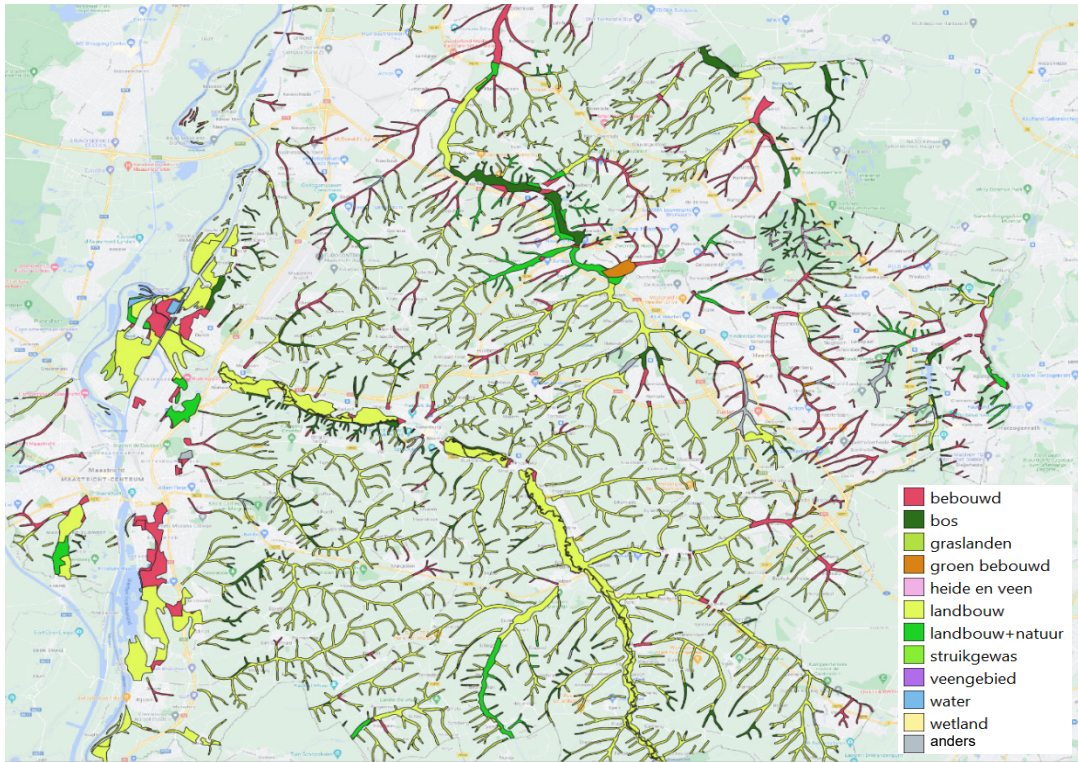


Figuur 15 Voorbeeld van ecohydrologische beekdalentypologie voor het deelgebied Oost-Nederland ('kaartlaag 5_ruimtelijke ecohydrologische beekdalentypologie') in combinatie met laagten in de stroomgebieden (blauw, 'kaartlaag 6_laagten'). De ecohydrologische typen zijn gebaseerd op de typen beschreven in Aggenbach et al. (2009). De laagten zijn geïdentificeerd op basis van de combinatie van hoogteligging (AHN3) en de hydrologie (Nederlands Hydrologisch Instrumentarium, KRW.gdb).

3.5 Landgebruik

Door het landgebruik in de beekdalen te analyseren wordt duidelijk waar in het beekdal natuur, landbouw of bebouwing voorkomen en wateropgaven gerelateerd aan (combinaties van) deze gebruikersfuncties (kunnen) ontstaan. Het is bekend dat menselijk ingrijpen de natuurlijke beekprocessen beïnvloedt. Mol (1986) gaf al ten tijde van het opstellen van de hydrobiologische districten aan dat door menselijk ingrijpen milieucondities veranderen en milieutypen verdwenen of gedegradeerd waren. Een indicatie voor de multifunctionaliteit van de beekdalen via een landgebruiksprofiel kan inzicht geven in hoeverre er nog ruimte is voor het natuurlijk functioneren van een beekdal.

Het landgebruik is geanalyseerd met behulp van kaarten met het grondgebruik in Nederland (LGN2020) en de Europese CORINE-landcover-kaart (CLC2018). Landgebruik heeft enerzijds de beken aangetast en vraagt anderzijds om nieuwe aanpassingen om aan de gecombineerde wateropgaven te voldoen. Figuur 16 geeft een voorbeeld van verschillende typen landgebruik in de Zuid-Limburgse beekdalen. Via de landgebruikskaart kan verkend worden waar wateropgaven vanuit landbouw, natuur en/of stedelijk gebied kunnen optreden en waar de opgaven samenkomen. Daarnaast geeft de kaart een indicatie waar natuurlijke beekdalprocessen goed zouden kunnen functioneren en welke beekdalgebieden multifunctioneel te gebruiken zijn.



Figuur 16 Landgebruik in de beekdalen voor het deelgebied Zuid-Limburg. Objecten zonder specificatie voor landgebruik zijn in de categorie 'anders' geplaatst. Bron: 'kaartlaag 8_landgebruik in beekdalen'.

Tabel 3 geeft een overzicht van het landgebruik voor de verschillende beekdalen van de beekdalenkaart. Voor de meeste beekdalen op de hogere zandgronden is het landgebruik grotendeels gerelateerd aan de landbouw. Beekdalen waarin natuur meer dan 20% van het beekdaloppervlak vormt zijn de beekdalen op de stuwwallen van Arnhem en Nijmegen, de Brabantse Wal en de Rode beek. In de beekdalen Dinkel, Berkel/Schipbeek en Regge is de combinatie landbouw-natuur goed vertegenwoordigd. Beekdalen met een relatief groot areaal bebouwing in het beekdal zijn de Limburgse heuvellandbeekdalen Wurm, Geleenbeek en Rode beek.

Moerassen, begroeiingen met struiken en beekdalvenen zijn weinig aanwezig in de beekdalen. In de Drentsche Aa en de Steenbergse en Rozendaalse Vliet is nog een substantieel areaal aan moerassen in het beekdal aanwezig. Hoewel de grote beekdalen vooral bestaan uit een landbouwgerelateerd grondgebruik, kunnen deze beekdalen tevens grote arealen natuur bevatten door hun omvang. Zo is hier de in totaal 11,7% bedekking van landgebruik 'natuur' goed voor een totaal areaal van 1386 hectare. Terwijl de 56,9% natuurlijk landgebruik in de beekdalen op de stuwwallen van Arnhem in totaal een areaal van 675 hectare innemen omdat de totale oppervlakte veel kleiner is.

Vanuit de beekdalprocessen gezien hebben de beekdalen op de stuwwal van Arnhem een groter potentieel voor natuurlijke processen. Vanuit de totale arealen landgebruik bezien hebben de bronbeekdalen op de Veluwe een groot potentieel voor natuur. Afhankelijk van de vraagstelling kan ervoor gekozen worden om de relatieve verdeling of juist de totale arealen van het landgebruik te analyseren. Voor een verkenning naar de invloed van landgebruik op waterkwantiteit en -kwaliteit van de beek via toestromende waterstromen is het raadzaam het landgebruik in het totale afwateringsgebied van de beek te beschouwen.

De verkennende analyse van beekdalenmerken gerelateerd aan wateropgaven laat zien dat ieder beekdal de potentie heeft om water op te kunnen vangen en/of vast te houden, waardoor het als klimaatbuffer zou kunnen fungeren. Voorwaarde is wel dat natuurlijke ecohydrologische processen kunnen functioneren. Herstel van deze processen via natuurherstel kan de waterbeschikbaarheid in het beekdal en het benedenstroomse deel van het stroomgebied verbeteren. Dit maakt natuurherstel waardevol voor landbouw en natuur.

Tabel 3 Relatieve verdeling van verschillende typen landgebruik in beekdalen (%). In de laatste kolom is het totaal areaal van het beekdal op de landgebruikkaart weergegeven. Bronnen: Corine landgebruikkaart, Landschappelijke Bodemkaart beekdalen.

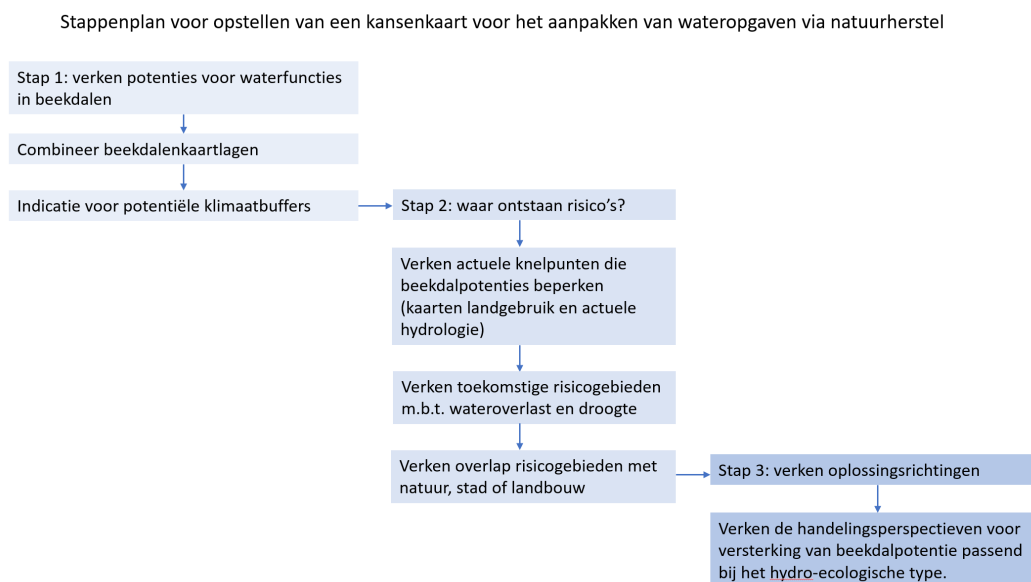
	bebouwd	bos	graslanden	groen bebouwd	heide en veen	landbouw	landbouw + natuur	struikgewas	veengebied	water	wetland	overig	totaal areaal (ha)
Aa	7.09	6.19	0.36	0.19	0.08	79.79	5.71			0.20		0.38	7578.81
Berkel/Schipbeek	4.00	2.56		0.04	0.00	72.03	20.91		0.01	0.28		0.16	17674.98
Brabantse Wal west	2.39	25.43				68.24	3.94						122.53
Bronbeken stuwwal Arnhem	4.70	56.91	4.42	4.60	4.67	18.30	4.56			0.16		1.68	955.40
Bronbeken stuwwal Nijmegen	10.29	23.30				66.41							338.81
Oost-Veluwe	6.43	10.20	0.27	0.75	0.45	66.56	13.99			0.02		1.33	11877.52
Dinkel	2.63	12.98			0.84	62.09	21.45		0.01				4921.63
Dommel	6.03	9.88	2.99	0.67	0.71	63.51	14.15	0.01		0.13	0.30	1.61	16467.99
Drentse Aa	4.86	2.38	7.41	0.37	0.22	64.19	7.94		0.02	2.35	7.96	2.28	12609.99
Geldersche Vallei/ Eem	11.21	3.15	1.44	0.51	0.76	73.10	9.38					0.47	3852.60
Geleenbeek	25.07	9.07		2.44	0.21	47.34	12.54					3.34	2314.09
Geul	8.15	7.86	0.60	0.20		78.64	3.02			1.07		0.45	3527.78
Hunze	1.69	0.81	8.41	0.21	0.04	85.08	0.07	0.46		1.65	0.46	1.12	8165.46
Kleine Vecht	1.71	1.39	3.65		0.30	87.02	4.78			0.24		0.91	8080.05
Maasterrassen oost	5.29	11.80	0.77	0.44	0.01	76.03	2.91			1.00		1.74	4358.71
Mark	5.30	7.12	4.08		0.57	75.33	7.31					0.30	5784.66
Neerbeek	2.94	16.84	1.01		0.55	69.27	8.88			0.02	0.00	0.48	5587.34
overig	16.74	11.68		0.10		65.77	4.12			0.27	0.12	1.19	2227.99
Overijsselse vecht	5.64	5.29		0.83		83.35	1.53			0.12		3.25	5087.90
Peelhorst-Maasterrassen West	4.19	8.69	0.50		0.11	79.55	5.07			1.59		0.29	9049.34
Reest	18.83	5.52			0.77	56.78	17.43					0.68	725.16
Regge	5.70	5.19	1.12	0.30	0.12	59.25	27.46		0.03	0.27	0.14	0.43	17909.43
Rode beek	22.79	25.22			3.65	42.20	1.01	0.00				5.13	642.15
Roer	4.36	17.02		1.93	3.57	66.03	6.20			0.02		0.87	2127.19
Ruiner Aa	5.11	2.46	1.95		2.07	84.78	2.48	0.24		0.35	0.45	0.11	18643.92
Salland	6.24	1.68	0.00	0.16	0.08	76.29	15.38					0.18	11508.80
Slinge/Baakse beek	1.69	2.96	0.17	0.25		76.30	17.55			0.06		1.03	15329.15
Steenbergse en Roosendaalse Vliet	5.82	8.92	1.18			75.36	5.06				2.65	1.01	1335.76
Voer	4.17	0.58				89.58	5.67						216.15
Westerwoldse Aa	0.68	4.55	5.81	0.98	0.18	81.78	5.64					0.36	3229.22
Wurm	40.15	7.62				23.30	17.55			0.76		10.62	418.86

3.6 Stappenplan naar een kansenkaart voor natuurlijk beekdalherstel

Voor een kansenkaart zijn de volgende aspecten van belang:

1. Wat zijn de fysieke potenties binnen de beekdalen voor wateropvang?
2. Waar zijn actuele fysieke knelpunten die deze potenties beperken?
3. Waar kunnen wateropgaven ontstaan en waar komen deze opgaven bij elkaar?
4. Waar kan natuurherstel bijdragen aan optimale benutting van de klimaatbufferpotenties van beekdalen?

De aangemaakte kaartlagen kunnen in combinatie met bestaande kaarten met informatie over landgebruik, actuele hydrologie (inclusief onttrekkingen of lozingen en grondwaterstanden) of klimaateffecten (klimaat-effectatlas) ingezet worden voor het ontwikkelen van kansenkaarten voor een veelheid aan gebiedsspecifieke opgaven. De verkenning van wateropgaven via een kansenkaart is daardoor idealiter een interactief proces in plaats van een statisch plaatje. In dit proces worden verschillende stappen doorlopen, die zijn weergegeven in figuur 17. Deze stappen worden in de volgende paragrafen meer in detail uitgewerkt. In de resulterende landelijke kaart ontbreekt het echter aan actuele en gebiedsspecifieke informatie. Het is daarmee een voorbeeldkaart, die slechts een beperkte bruikbaarheid kent voor gebiedsprocessen.



Figuur 17 Stappenplan voor het maken van een kansenkaart voor het verkennen van wateropgaven en oplossingen in beekdalen.

3.6.1 Inzet van de kaartlagen voor de verkenning van de potenties voor waterfuncties in verschillende typen beekdalen

Door de resultaten uit de analyses te integreren wordt duidelijk welke beekdalen op hoofdlijnen met elkaar vergelijkbaar zijn wat betreft (geo)morfologie en hydromorfologie en ecohydrologie. Tabel 4 geeft een overzicht van de groepering van beekdaltypen op basis van deze vergelijking. Uitgangspunt zijn de ruimtelijk gedefinieerde ecohydrologische typen. In een vervolgstap zijn de geomorfologische en hydromorfologische karakteristieken en bodem-water-functies meegewogen. De cijfercode in de eerste kolom verwijst naar de onderscheidde groepen. Deze codering correspondeert met de weergave van de hoofdgroepen in de kaartlaag in figuur 18.

Groep 1: Heuvellandbeken

Deze groep beekdalen is ecohydrologisch en morfologisch sterk vergelijkbaar.

Groep 2, 3 en 4: Beken in reliëfrijke gebieden op de hogere zandgronden

De beken van reliëfrijke gebieden worden opgesplitst in groep 2, 3 en 4 op basis van verschillen in morfologie en waterfuncties. De bronbeken op de Veluwe stuwwal zijn door zwakke kwel gevoede systemen met een gevarieerde morfologie. De bronbeken op de stuwwallen van Arnhem en Nijmegen worden morfologisch gekarakteriseerd door hun droogdalen en droge, basenarme zandgronden. De Maasterrassen Oost en Roer bevinden zich op rivierklei en pleistocene rivierterrassen.

Groep 5: Laaglandbeken met bovenlopen in reliëfrijk gebied

Deze categorie bevat beken waarvan de bovenstroomse delen in reliëfrijke gebieden liggen. Deze beekdalen vertonen morfologisch gezien sterke gelijkenissen.

Groep 6 en 7: Beken zonder duidelijk beekdal

Deze groep bevat langzaam stromende beken zonder duidelijk beekdal in gebieden met waar veen aanwezig is (geweest). De groepen worden onderscheiden op basis van hun geomorfologische eigenschappen.

Groep 8-17: Langzaam stromende laaglandbeken in relatief vlakke gebieden

Dit type bevat de langzaam stromende laaglandbeken en -riviertjes in Drenthe en Brabant, de Gelderse vallei en de Overijsselse Vecht. In de clustering op basis van de geomorfologie worden de Hunze, Drentsche Aa en Overijsselse Vecht als verschillende groepen gekarakteriseerd. De overige groepen komen in geomorfologie overeen, maar worden van elkaar onderscheiden op basis van hydromorfologische verschillen.

Bij het ruimtelijk inzichtelijk maken van de ecohydrologische typologie is onderscheid gemaakt tussen de hoger gelegen bovenstroomse delen van de beekdalen van laaglandbeken en de lager gelegen benedenstroomse delen. De morfologische karakteristieken op de beschikbare kaarten zijn niet te onderscheiden op dit punt; hierdoor komt dit onderscheid niet in de overzichtstabel tot uiting. Op de overzichtskaart is dit onderscheid wel gemaakt: de hogere delen van de beekdalen van langzaam stromende beken zijn op de overzichtskaart donkerder gekleurd en gecodeerd met 'h'.

De kaartlagen kunnen ingezet worden als kanskaart voor een verkenning van de potentie voor het vasthouden van water, infiltratie en afstroming in de verschillende beekdaltypen. Kanttekening bij het gebruik van de kaartlagen als kanskaart is dat een aantal zeer relevante parameters moeilijk ruimtelijk te definiëren is en daarom niet in de kanskaart meegenomen kan worden. Enkele voorbeelden hiervan zijn baserijkdom, permanentie, stroomsnelheid, onderscheid tussen lokale en regionale kwel, overstroming en voedselrijkdom (Higler & Mol 1984, Mol 1986, Aggenbach et al. 2009). Een aanvullende gebiedsstudie is nodig om dit type parameters alsnog in de verkenning mee te nemen.

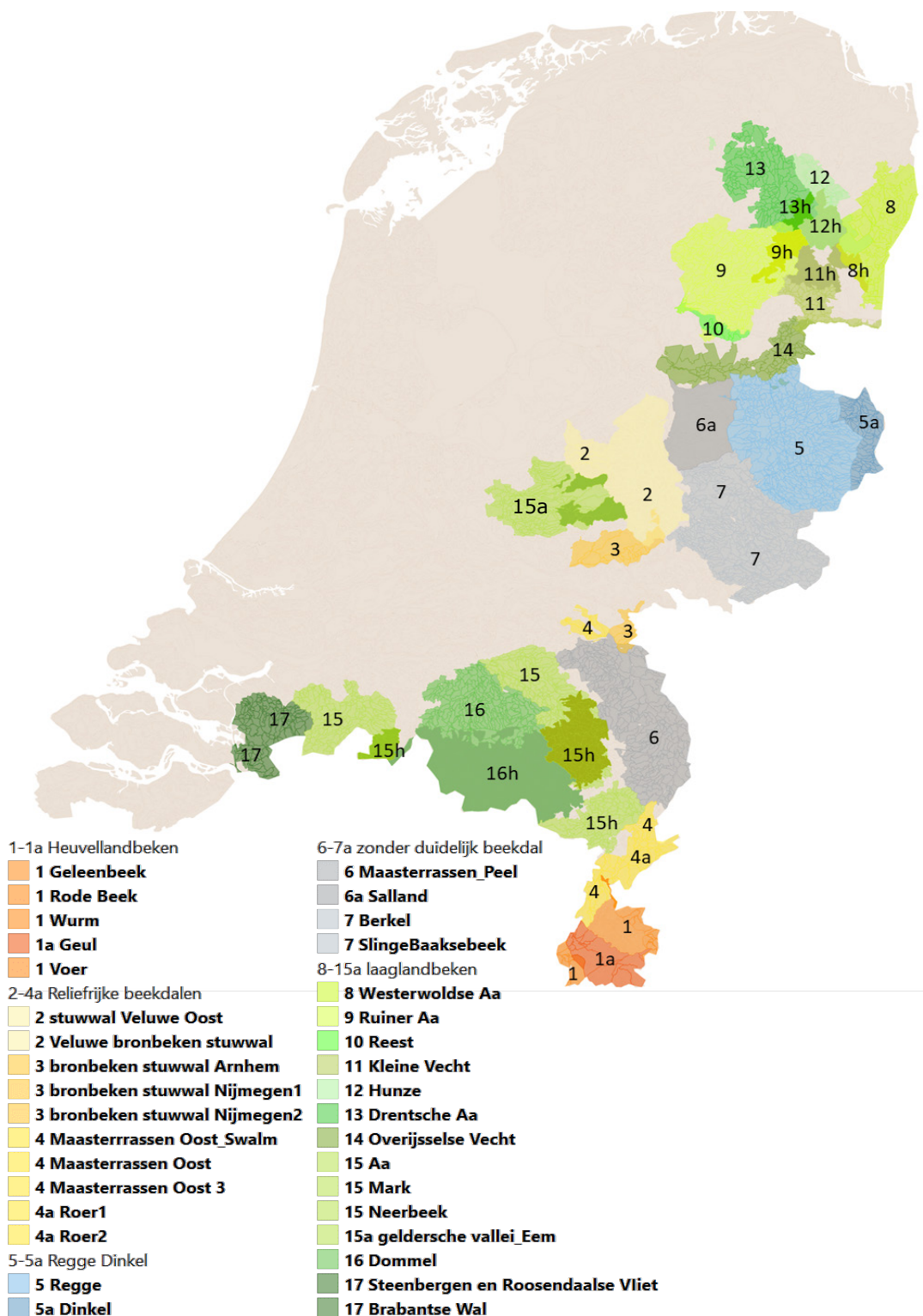
Omdat de kaartlagen op lange-termijn-informatie zoals landschappelijke vorming, bodemkarakteristieken, hydrologie en de verspreiding van organismen in het verleden gebaseerd is, geven ze als kanskaart vooral informatie over de potenties binnen beekdalen voor wateropgaven onder omstandigheden waarin beekdalprocessen natuurlijk zouden functioneren.

Tabel 4 Overzichtstabel groeperingen van beekdalen op basis van de onderzochte karakteristieken. De codes in de eerste kolom corresponderen met de legenda van de overzichtskaart in figuur 18.

informatie	beekdalnaamgeving	categorie omschrijving	ruimtelijk eco-hydrologisch type	geomorfologische karakteristieken	hydromorfologische karakteristieken	dominante waterfunctie
kaartlaag	beekdalenkaart	beekdalenkaart	beekdalen eco-hydrologiekaart	beekdalen geomorfologiekaart	beekdalen fysische geografiekaart	bodemwaterfunctiekaart
1	Geleenbeek	limburgse heuvelbeekdalen	type 6_heuvellandbeken	droogdalen en kleine beekdalen in löss	droge dalbodem	infiltratie 58%
1	Rode beek					infiltratie 44%
1	Wurm					infiltratie 45%
1	Voer					infiltratie 80%
1a	Geul					infiltratie 60%
2	Bronbeken stuwwal Oost-Veluwe	reliefrijke gebieden Midden Nederland	type 5_beken in reliefrijke gebieden	gevarieerd_natte en verdroogde beekdalen, lemige puinwaaiers, droogdalen, vochtige dekzandlaagten	door zwakke kwel gevoede systeem	vasthouden 67%
3	Bronbeken stuwwal Arnhem	reliefrijke gebieden in rivierengebied		droogdalen	droge basenarme zandgronden	niet specifiek
3	Bronbeken stuwwal Nijmegen	reliefrijke gebieden in rivierengebied				niet specifiek
4	Maasterrassen oost	reliefrijke gebieden in rivierengebied		geulen in pleistocene rivierterrassen	rivierkleigronden	vasthouden 58%
4a	Roer	reliefrijke gebieden in rivierengebied				vasthouden 45% en afspoelen 34%
5	Regge	beken met bovenstrooms relief	bovenstrooms: type 5_beken in reliëfrijke gebieden benedenstrooms: type 3_laaglandbeken en type 4_laagte zonder duidelijk beekdal	benedenlopen en lemige beekdalvlakten	door zwakke kwel gevoede systeem	vasthouden 78%
5a	Dinkel	beken met bovenstrooms relief	bovenstrooms: type 5_beken in reliëfrijke gebieden benedenstrooms: type 3_laaglandbeken	natte en verdroogde beekdalen		vasthouden 70%
6	Peelhorst-Maasterrassen -west	Beekdalen in veenrijke gebieden	type 4_langzaamstromende beek zonder duidelijk beekdal, doorstroommoeras en moerasbeek	natte en verdroogde beekdalen geulen in pleistocene rivierterrassen	vochtige zandgronden, gevoed door zwakke kwel	vasthouden 61%
6a	Salland			natte en verdroogde beekdalen vochtige dekzandlaagten		vasthouden 81%
7	Berke/Schipbeek			benedenlopen en lemige beekdalvlakten	door zwakke kwel gevoede systeem	vasthouden 67%
7	Slinge/Baakse beek			vochtige dekzandlaagten		vasthouden 84%

Tabel 4 (vervolg)

informatie kaartlaag	beekdalnaamgeving	categorie omschrijving	ruimtelijk eco-hydrologisch type	geomorfologische karakteristieken	hydromorfologische karakteristieken	waterfunctie
	beekdalenkaart	beekdalenkaart	beekdalen eco-hydrologiekaart	beekdalen geomorfologiekaart	beekdalen fysische geografiekaart	bodemwaterfunctiekaart
8	Westerwoldse Aa	drentse laaglandbeken	type 3_langzaamstromende laaglandbeken	grote relatieve opp beeklopen, benedenlopen en lemige beekvlakten, natte en verdroogde beekdalen	vochtige zandgronden, gevoed door zwakke kwel	vasthouden 56%
9	Ruiner Aa	drentse laaglandbeken op overgangsveen		veengronden aanwezig	zwakke kwel in combinatie met moerige gronden met sterke kwel, en veengronden met matige regionale kwel	vasthouden 80%
10	Reest	drentse laaglandbeken op overgangsveen		veengronden aanwezig	veengrond met matige regionale kwel	vasthouden 59%
11	Kleine Vecht	drentse laaglandbeken op overgangsveen		grote relatieve opp beeklopen, veen	vochtige zandgronden, gevoed door zwakke kwel	vasthouden 78%
12	Hunze	drentse laaglandbeken op overgangsveen		veengronden aanwezig	vochtige zandgronden, gevoed door zwakke kwel	vasthouden 58%
13	Drentsche Aa	drentse laaglandbeken op overgangsveen		veen aanwezig, grote relatieve opp beeklopen	zwakke kwel in combinatie met moerige gronden met sterke kwel, en veengronden met matige regionale kwel	vasthouden 82%
14	Overijsselse vecht	beekdalen Overijssel		Natte en verdroogde rivierdalen, rivierlopen	fijnzandige riviergronden, laaggelegen uiterwaarden	niet specifiek
15	Aa	brabante laaglandbeken		zwarte eerdgrond natte en verdroogde beekdalen	vochtige zandgronden, gevoed door zwakke kwel	vasthouden 67%
16	Dommel	brabante laaglandbeken			minerale en humeuze grond dat gevoed wordt door lateraal toestromend grondwater en zwakke kwel	vasthouden 62%
15	Mark	brabante laaglandbeken			vochtige zandgronden, gevoed door zwakke kwel	vasthouden 65%
17	Steenbergse en Roosendaalse Vliet	brabante laaglandbeken			hoge minerale zandgrond, basenarme grond met stagnerend regenwater	vasthouden 67%
17	Brabantse Wal west	brabante laaglandbeken			hoge minerale zandgrond	infiltratie 54%
15	Neerbeek	brabante laaglandbeken			vochtige zandgronden, gevoed door zwakke kwel	vasthouden 61%
15a	Geldersche Valleij/ Eem	laaglandbeek Midden Nederland	natte en verdroogde beekdalen		vochtige zandgronden, gevoed door zwakke kwel	vasthouden 68%



Figuur 18 Overzicht typologische groepering van beekdalen op basis van de onderzochte karakteristieken in relatie tot (geo)morfologie, hydromorfologie en ecohydrologie. De cijfers verwijzen naar de groepering zoals weergegeven in tabel 4. De beekdalen in de hogere delen van het stroomgebied van een aantal laaglandbekken zijn met de letter 'h' gecodeerd. De kaart is beschikbaar als 'kaartlaag 7_overzicht groeperingen van beekdalen'.

3.6.2 Inzet van de kaartlagen voor de verkenning van knelpunten voor waterfuncties in beekdalen vanuit veranderend landgebruik en klimaat

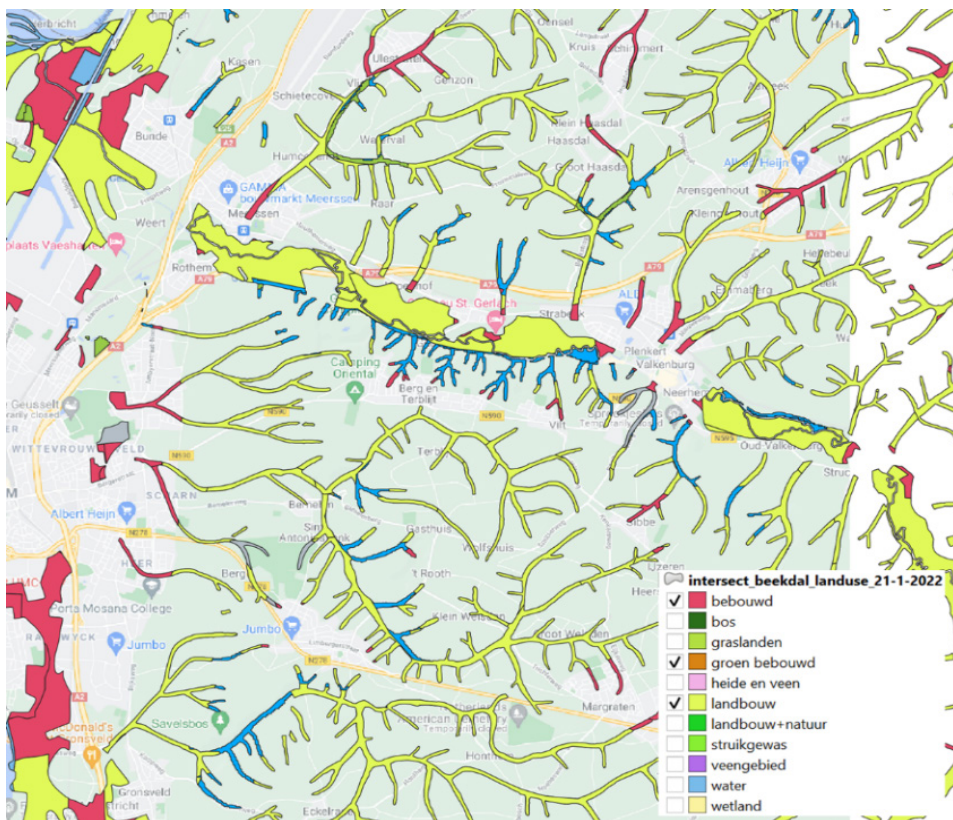
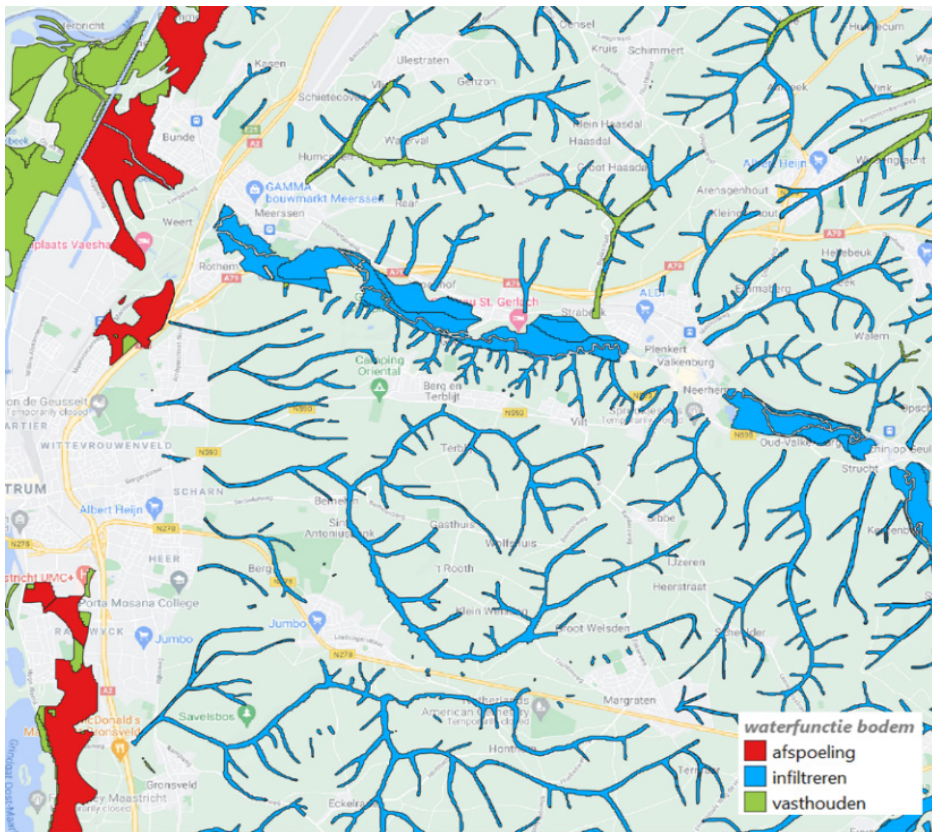
De overzichtskaart in figuur 18 geeft in combinatie met de bijbehorende tabel 4 aan welke waterfunctie (infiltratie, waterberging, etc.) passend is bij de morfologie, hydrologie en ecohydrologie van de verschillende typen beekdalen onder natuurlijke omstandigheden. In een multifunctioneel beekdal kan deze natuurlijke potentie meestal niet ten volle worden benut. De mate van aanpassing van het beekdal aan gebruiksfuncties geeft een indicatie voor de ruimte die er is voor natuurlijke waterfuncties. In ernstig gemodificeerde beekdalen met van nature potentie voor wateropvang kan natuurherstel echter de waterbufferfunctie van het beekdal verbeteren.

Knelpunten ontstaan als gevolg van veranderingen in de morfologie en waterstromen in beek en beekdal. Aggenbach et al. (2009) geeft aan dat het moeilijk is om een eenduidige typologie voor zowel ecologie als hydrologie op te stellen, omdat interacties en gradiënten tussen de aquatische en terrestrische beekdalzones niet langer intact zijn. Dit betekent dat een deel van de potentie om water op te vangen in het beekdal met behulp van een dynamische overstromingszone in sommige beekdalen al minder functioneert. Knelpunten kunnen verkend worden door de aangemaakte kaartlagen te combineren met een landgebruikskaart. Verkend kan worden welke landgebruiksfuncties in de risicozones liggen. Hier kunnen actuele watervragen spelen.

Figuur 19 laat voor een deelgebied in Zuid-Limburg zien wat potentiële waterfuncties in de beekdalen kunnen zijn (figuur 19a) en hoeveel ruimte overblijft voor deze functies als rekening gehouden wordt met het actuele landgebruik (figuur 19b). Dit kaartbeeld geeft inzicht in welke gronden van het oorspronkelijke beekdal in potentie fysiek nog beschikbaar zijn voor waterfuncties; m.a.w. een kansenkaart. Hierbij is verondersteld dat alleen een natuurlijk landgebruik ruimte voor waterfuncties biedt. Mogelijk bestaan voor andere typen landgebruik ook kansen om de potentie voor infiltratie en waterberging te vergroten. Hiervan is geen kansenkaart opgesteld. Ook is de bestaande kansenkaart nog verre van perfect. Om de fysieke kansen van de ruimtelijke capaciteiten voor wateropvang in een beekdallandschap beter in beeld te krijgen moeten de kaarten aangevuld worden met specifiekere en actuelere gebiedsinformatie. Bijvoorbeeld met informatie over actuele grondwaterstanden. Waar is nog ruimte om water op te vangen? Welke grondwaterlichamen zijn verzadigd en welke zones verdrogen? De huidige kansenkaart geeft dus alleen een eerste uitwerking van fysieke kansen op typeniveau.

3.6.3 Inzet van de kaartlagen voor de verkenning van toekomstige ontwikkelingen

Klimaateffecten en veranderingen in landgebruik zullen leiden tot veranderende waterstromen en wijzigingen in de morfologie van beekdalen. Sommige van deze processen zijn misschien wel onomkeerbaar. Deze veranderingen leiden onherroepelijk tot nieuwe wateropgaven. Door de beekdalkaarten te combineren met kaarten voor klimaateffecten kan verkend worden waar in de toekomst rekening mee gehouden zou moeten worden. Ook geeft deze combinatie weer waar de risicogebieden liggen. Onderzocht kan worden welke natuurwaarden, landbouwactiviteiten en bebouwing zich in risicogebieden bevinden en tot welke wateropgaven dit zal leiden. Omdat klimaateffecten een dusdanige omvang kunnen hebben dat ze de potentie van beekdalen als klimaatbuffer kunnen overvragen is een extra analysestap nodig naar de capaciteit van de beekdalen om de toekomstige watertoevoer of droogte op te kunnen vangen. Deze analyse kan uitgevoerd worden voor natuurlijke beekdalen en voor de actuele situatie in beekdalen. Het verschil in capaciteit geeft aan of met natuurherstel de klimaatbufferfuncties van beekdalen voldoende versterkt kan worden of dat aanvullende maatregelen nodig zijn.



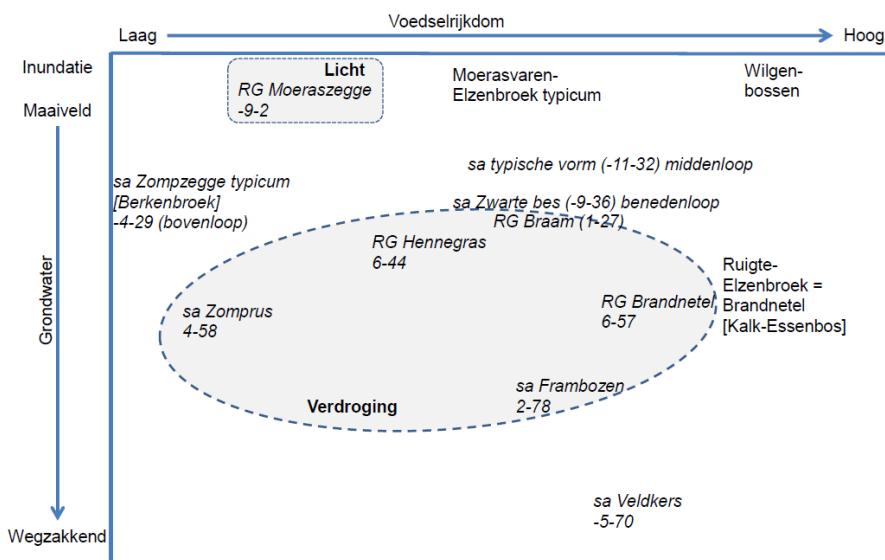
Figuur 19 Een overzicht van de potentiële waterfuncties in beekdalen in Limburg (a) met daarop geprojecteerd de actuele gebruiksfuncties anders dan natuur (b).

3.7 Handelingsperspectieven voor fysiek herstel

3.7.1 Handelingsperspectieven voor hydrologisch herstel

De kanskaart uit de vorige paragraaf kijkt op een hoog abstractieniveau naar de kansen voor natuurlijk beekdalherstel t.b.v. bijvoorbeeld infiltratie en het vasthouden van water. De focus ligt daarbij op beken van de hogere zandgronden. Hydrologisch herstel vraagt om het versterken van zowel de mogelijkheden voor inundatie in de lagere delen en een grotere infiltratiecapaciteit op de hogere gronden. Dit betekent dat de beek sterker gaat interacteren met de omliggende gronden. Er zal in dat geval vernatting optreden in de beekdalen en er zullen meer gradiënten van nat naar droog ontstaan. Dit betekent ook dat er in of op deze gronden voldoende mogelijkheden voor waterberging aanwezig moeten zijn. Dit biedt kansen om de effecten van perioden met droogte te beperken en piekafvoeren op te vangen na hevige regenval. Hiervan kunnen de gebruiksfuncties 'natuur', 'landbouw' en 'stedelijk gebied' profiteren. Door de maatregelen zullen echter ook delen van het beekdal en de infiltratiegebieden permanent natter worden, waardoor een transitie in het landgebruik noodzakelijk is. Een toekomstbeeld voor het landgebruik langs een gradiënt van nat naar droog kan er als volgt uit gaan zien: in de lagere, nattere zones kan de potentie voor natte teelten (paludicultuur) verkend worden, terwijl in overstromingsgebieden en gebieden met hoge grondwaterstanden potenties liggen voor diverse typen extensief grasland, al dan niet met beweiding. In de hoogste en droogste delen kan tenslotte worden ingezet op de meer traditionele landgebruiksvormen zoals gras- of bouwland. Ook kan worden ingezet op herbebossing van de beekdalen, omdat de omstandigheden voor de ontwikkeling van natte bostypen (alluviale bossen, zoals broekbossen) verbeteren.

Hoe de verschillende beekdalen zich ecologisch zullen ontwikkelen als gevolg van hydrologisch herstel is afhankelijk van de eigenschappen en ecologische potenties van de verschillende beeksystemen (Van den Burg et al. 2014, Verdonschot et al. 2017a) en hangt samen met abiotische condities en soortspecifieke eisen. Het ontwikkelen van bijvoorbeeld broekbos in een beekdal leidt op verschillende locaties tot andere broekbostypen. Figuur 20 illustreert dit principe en laat zien hoe verschillen in voedselrijkdom en grondwaterkarakteristieken leiden tot een verschillende ontwikkeling.



Figuur 20 Samenhang tussen de hydrologische toestand en de trofiegraad en het ontstaan van verschillende broekbostypen (cijfers GHG, RG = rompgemeenschap, sa = subassociatie). Bron: Verdonschot et al. 2017b.

Een dergelijke verfijning van de kanskaart is op basis van huidige gebruikte kaartencombinaties niet te maken. Op dit te realiseren is een verdere verfijning nodig op beekdalschaal om te komen tot een bij het beekdal passende aanpak, afgestemd op bijvoorbeeld de lokale omstandigheden en het landgebruik. Vanuit

deze verfijning kunnen gebruikersfuncties of hun locaties beter afgestemd worden op de ruimtelijke inrichting die voor herstel van de natuurlijke hydrologische processen nodig is.

3.7.2 Handelingsperspectieven voor de andere beekdaltypen

Er bestaan beschrijvingen van maatregelen voor hydrologisch herstel in beekdalen (Aggenbach et al. 2009, Altenburg et al. 2018, Verdonschot et al. 2017a). In deze paragraaf is gekeken welke aanknopingspunten voor herstel gegeven kunnen worden voor de in deze studie opgenomen beekdaltypen. De analyse leidde tot een indeling in 17 groepen beekdalen. Handelingsperspectieven voor het verbeteren van de potentiële waterfuncties in deze beekdalen zijn op hoofdlijnen te geven. Om aan te sluiten bij de schaal waarop handelingsperspectieven op basis van deze studie geformuleerd kunnen worden, is besloten tot het uitwerken van de volgende groepering:

- heuvellandbeken (groep 1, 1a);
- beken in reliëfrijke gebieden (groep 2-5);
- laaglandbeken in Noord-Brabant (groep 15-17);
- laaglandbeken in de Gelderse Vallei (groep 15a);
- laaglandbeken in Noord-Nederland (groep 8-14);
- beken zonder duidelijk beekdal (groep 6, 7).

Potentiële maatregelen om de bufferfunctie van deze groepen te versterken zijn weergegeven in tabel 5. Omdat in de beschrijving van maatregelen voor beekdalen vaak verdroogde beekdalen worden benoemd, is een extra categorie voor deze beekdalen toegevoegd. Naast hydrologische herstelmaatregelen die voor alle typen van belang zijn, is op basis van actuele knelpunten voor iedere groep een specifiek handelingsperspectief geschetst.

Heuvellandbeken

In de droge lössdalen van de snel stromende Limburgse heuvellandbeken is weinig potentie om water te bergen op de flanken. Extra bebossing of natuurontwikkeling in bovenstroomse gebieden is gewenst om de bodem geschikter te maken om water te laten infiltreren en het risico op versnelde afstroming, erosie en wateroverlast in benedenstroomse gebieden te verkleinen. Doordat het water in deze beken door het grote verhang snel afstroomt, is het risico op wateroverlast in de lager gelegen zones groot. Een ander handelingsperspectief is om landbouw in de lagere zones in te richten op mogelijkheden voor meer natte of water-tolerante landbouw, terwijl dorpen en steden in deze zones extra en vaak ingrijpende maatregelen zullen moeten toepassen om het water in de bodem te laten infiltreren of af te laten stromen. In de huidige situatie kunnen de oppervlakkige afspoeling en piekafvoeren zo groot worden dat ze niet met retentiebekkens of andere voorzieningen opgevangen kunnen worden.

Beekdalen in reliëfrijke gebieden

Een grote bedreiging voor dit type beekdal is het verlies van de interactie tussen beek en beekdal als gevolg van diepe insnijding van de beekloop. Het aquatische deel van het beekdal is hierdoor gescheiden van het omringende beekdallandschap. Door terugschrijdende erosie kunnen de snelstromende beken in reliëfrijke gebieden zich te diep insnijden en kan drainage van de aanliggende gronden optreden. De maatregelen in de kolommen 'herstel verbinding tussen beek en beekdal' en 'herstel van geleidelijke overgangen' in tabel 5 zijn voor dit type van toepassing. Gedacht kan worden aan het ophogen van de beekbodems van diep ingesneden beken, het verwijderen van drainagemiddelen in het beekdal en het herstellen van bronnen. Landschappelijk kan ingezet worden op meer geleidelijke overgangen, waarbij langs de beek ruimte gemaakt wordt voor een natte inundatiezone.

Laaglandbeken

Deze beekdalen die zijn gelegen in vlakkere landschappen zijn zeer geschikt voor waterberging en moerasvorming. In de actuele situatie is verdroging echter een grote wateropgave in laaglandbeken. In de ontwaterde gebieden is potentieel veel ruimte voor waterberging. Hydrologisch herstel, het verwijderen van drainagemiddelen en het afkoppelen van harde oppervlakten en een beperking van de wateronttrekking zijn voor deze beken belangrijke maatregelen. Ook kan gedacht worden aan het verondiepen van de beek en het verondiepen of dempen van sloten in de lagere delen van het beekdal en op de flanken. Om verondiepen

effectief te laten zijn, moeten wel tegelijkertijd de oorzaken van de verhoogde piekafvoeren bovenstrooms aangepakt worden.

Laaglandbeken in veengebieden

De clusteringresultaten gaven aan dat laaglandbeken met veen(restanten) als aparte groep beschouwd kunnen worden wat beekdalkenmerken betreft. Deze laaglandbeekdalen bestaan veelal uit midden- en benedenlopen met (in het verleden) veen in de ondergrond. Veel van de processen in deze beken zijn vergelijkbaar met die van de lage benedenstroomse delen van het stroomgebied van laaglandbeken (ecohydrologisch type 3a). Doordat veen niet veel water doorlaat, is er een kleiner volume om water te bergen. Voor het ontwikkelen van een klimaatbuffer is in deze beken daardoor relatief gezien een grotere overstromingsvlakte nodig. Het benodigde oppervlak hangt af van de bodemsamenstelling in het totale beekdal in combinatie met de afvoer en de risico's op klimaateffecten in het gebied. Verder is het voor de ecologie van deze beekdalen van belang om het veen nat te houden om mineralisatie van het veen (veraarding) tegen te gaan.

Beken zonder duidelijk beekdal

Doordat er nauwelijks verval is en weinig laterale grondwaterstroming optreedt, staat het waterpeil in dit type beken tot op het maaiveld. De bodem is over het algemeen met water verzadigd, vooral op de locaties waar de kwel zich concentreert. Op deze plekken wordt water diffuus afgevoerd over het maaiveld. Ecologische risico's voor dit type zijn vooral gerelateerd aan waterkwaliteit, het wegvallen van kwel, stagnatie en verandering van de afvoerdynamiek van de beek. Ook grondwateronttrekking vormt een risico. Herstelmaatregelen voor dit type zijn dan ook gericht op herstel naar een natuurlijke afvoerdynamiek en het verbeteren van de waterkwaliteit.

Tabel 5 Overzichtstabel van maatregelen gericht op het verbeteren van waterfuncties in de verschillende groepen beekdalen. De codering van de beekdalen komt overeen met de codes van de groepen beken uit tabel 4 en figuur 18 die in de analyse onderscheiden zijn.

maatregel	beschrijving	waterafstroming bovenstrooms beperken	bovenstrooms water laten infiltreren en vasthouden	gedempte afvoerdynamiek	oppervlakkige waterafstroming beperken	herstel grondwaterstand	verbinding tussen beek en beekdal herstellen	geleidelijke overgangen herstellen	integrale benadering	heuvelandbeken (code 1-1a)	beken in reliëfrijke gebieden (code 2,3,4,5)	laaglandbeken Brabant (code 15, 16, 17)	laaglandbeken Geldersche Vallei (code 15a)	laaglandbeken Noord Nederland (code 8-14)	beken zonder duidelijk beekdal (code 6,7)	verdroogde beekdalen
bebossing	Bebossing in de hoger gelegen zones kan de mogelijkheden voor vertraagde waterafstroming en infiltratie verbeteren. Het bovenstrooms in bosbodems opgeslagen water kan vertraagd afgevoerd worden via de flanken. Hierdoor verbetert de waterbeschikbaarheid voor de lagere zones. Dit kan landbouw en natuur in lagere zones helpen om droogte tegen te gaan.	x	x	x	x						x		x	x	x	
heterogene en diffuse afvoersystemen herstellen	Diffuse afvoersystemen zijn gevoelig voor ontwatering. Dit maakt herstel van grootschalige diffuse afvoersystemen niet haalbaar. Inzetten op herstel van doorstrooimoerassen in de bovenlopen van beken is een goede optie. Denk hierbij aan gebieden hoog in het stroomgebied en op de flanken. Het uitgraven van dichtgestorte bronnen is ook een optie.	x	x	x		x					x	x	x	x	x	x
diffuse afvoersystemen ontwikkelen door retentiegebieden aanleggen	Door de aanleg van retentiegebieden kunnen diffuse afvoersystemen ontstaan. Waterbergingslaagtes, moerassen, diffuse afvoersystemen en tijdelijke retentiebekken kunnen fungeren als retentiegebied.	x	x	x		x					x	x	x	x	x	x
bovenlopen omvormen naar doorstrooimoerassen	Omvorming van bovenlopen naar doorstrooimoerassen met potentieel veenvormende vegetaties kan bovenstrooms waternvasthouden en vertraagde afvoer van het water stimuleren.	x	x	x		x		x			x	x	x	x	x	x
overstromingsvlakten creëren	In overstromingsvlakten kan water geborgen worden als oppervlaktewater in plaats van ondergronds. Dit kan in retentiegebieden, of in beekbegeleidende moerassen. Voor ecologische en waterkwaliteitsdoeleinden is wel belangrijk dat een continue stroming gewaarborgd blijft, waardoor het water in beweging blijft en langzaam naar benedenstrooms beweegt. De ondergrond in overstromingsvlakten moet doorlaatbaar blijven, dus vrij zijn van verharde oppervlakten. Inundatievlaktes die functioneren als afgesloten laagten (depressies in het landschap) hebben de voorkeur. Hier zijn de randvoorwaarden meestal al in potentie aanwezig.			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

maatregel		beoogde doel							beekdal groepen							
maatregel	beschrijving	waterafstroming bovenstrooms beperken	bovenstrooms water laten infiltreren en vasthouden	gedempte afvoerdynamiek	oppervlakkige waterafstroming beperken	herstel grondwaterstand	verbinding tussen beek en beekdal herstellen	geleidelijke overgangen herstellen	integrale benadering	heuvelandbeken (code 1-1a)	beken in reliëfrijke gebieden (code 2,3,4,5)	laaglandbeken Brabant (code 15, 16, 17)	laaglandbeken Geldersche Vallei (code 15a)	laaglandbeken Noord Nederland (code 8-14)	beken zonder duidelijk beekdal (code 6,7)	verdroogde beekdalen
morfologie en vegetatie inzetten om oppervlakkige afstroming te voorkomen	Maatregelen aan de morfologie en vegetatie in waterlopen kunnen piekafvoeren verder verlagen. Het is van belang verschillende maatregelen te combineren zodat de jaarlijkse hoeveelheid beschikbaar water gelijkmatiger tot afvoer komt. Een voorbeeld is het inzetten van oeverwallen om via hydrologische remming oppervlakkige afstroming bij snel optredende watertoevoer te beperken.			x	x					x	x	x	x	x	x	x
infiltratiecapaciteit van bodem verbeteren, areaal aan hard oppervlak verminderen	Beperk de oppervlakte afstroming door het verminderen van het areaal verhard oppervlak, terugdringen van verstening, herstellen van dichtgeslagen bodems, verruwen van oppervlak, en aanpassen van vegetatiepatronen. De verbetering van de infiltratiecapaciteit draagt bij aan het versterken van vasthouden, ook onder landbouwgronden.		x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x
waterberging op de flanken in combinatie met vertraagde afvoer	Het inzetten van de flanken voor waterberging in combinatie met vertraagde afvoer geeft mogelijkheden voor herstel van de grondwaterstand in de lagere delen van het beekdal.		x	x	x	x					x	x	x			x
grondwaterstand verhogen	Als water bovenstrooms vastgehouden kan worden en vertraagd beschikbaar komt, kan in de lagere delen worden ingezet op het verhogen van de grondwaterstand. Omvorming van bovenlopen naar doorstroommoerassen kan hierbij helpen.					x						x	x			x
Beekdalen inzetten voor waterberging door overstromingen in het beekdal toe te staan.	Waterberging in beekdalen kan alleen functioneren als onderdelen van het beekdal (tijdelijk) onder water kunnen staan. Hierdoor krijgt het water de kans om in te zijgen in de ondergrond. Beekdalen moeten dus kunnen overstromen.	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
drainagemiddelen verwijderen uit beekdalen en inundatiegebieden	Drainerende structuren zoals greppels, sloten of buisdrains in het inundatiegebied zorgen dat het water na inundatie te snel naar de beek terugstroomt. Het verwijderen van drainagemiddelen kan infiltratie en water vasthouden versterken.			x	x	x				x	x	x	x	x	x	x
wateronttrekking beperken	Wateronttrekking voor beregening, drinkwater en industrie kan leiden tot verdroging van het beekdal. Het beperken van wateronttrekking bevordert de waterbeschikbaarheid voor het beekdal.					x				x	x	x	x	x	x	x

maatregel		beoogde doel								beekdal groepen						
maatregel	beschrijving	waterafstroming bovenstrooms beperken	bovenstrooms water laten infiltreren en vasthouden	gedempte afvoerdynamiek	oppervlakkige waterafstroming beperken	herstel grondwaterstand	verbinding tussen beek en beekdal herstellen	geleidelijke overgangen herstellen	integrale benadering	heuvelandbeken (code 1-1a)	beken in reliëfrijke gebieden (code 2,3,4,5)	laaglandbeken Brabant (code 15, 16, 17)	laaglandbeken Gelderse Vallei (code 15a)	laaglandbeken Noord Nederland (code 8-14)	beken zonder duidelijk beekdal (code 6,7)	verdroogde beekdalen
beekbodems van diep ingesneden beken ophogen	Diep ingesneden beken kunnen weer aansluiting vinden bij het omringende land door het ophogen van de beekbodem.			x			x	x		x	x					
verklein profiel door verondiepen en versmallen van overgedimensioneerde dwarsprofielen	Door verkleinen van profiel kan het dal bij hoge afvoeren inunderen. Hierdoor kan meer water vastgehouden en geborgen worden. Hoe groter het inundatiegebied, hoe beter het systeem gaat functioneren.		x	x	x		x	x		x	x	x	x	x		x
profielverkleining en wegverlenging	Verlengen van de weglengte van de beek en profielverkleining van beken dragen bij aan het vertragen en bergen. Wegverlengen kan bijvoorbeeld via meandering. In het dal moet ook inundatie mogelijk zijn. Waar droge bodem extra water kan vasthouden en waar in laagte in het landschap oppervlaktewater mag achterblijven liggen de grootste kansen.		x	x	x		x	x				x	x	x		
geleidelijke overgangen tussen beek en omringend land herstellen	Het herstellen van de transversale en longitudinale gradiënten zijn van groot ecologisch en hydrologisch belang en zorgen voor het herstel van ecohydrologische processen en het natuurlijk functioneren van het beekdal.		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
meandering inzetten om ecologische gradiënten te versterken	In laaglandbeken is geen actieve meandering, maar ontstaan kronkels in het beeklandschap door oevererosie in combinatie met de aanwezigheid van bomen en kwel. Enige kronkeling van de beekloop is voldoende om habitatheterogeniteit te creëren die nodig is voor een hogere biodiversiteit. Dit kan door de hydraulische weerstand te verhogen met het inbrengen van dood hout of verondiepen van de beek.			x	x									x		
opschaling herstelmaatregelen	opschaling van herstelmaatregelen kan door het herstellen van grote oppervlakten vanuit een beekdalbrede benadering. Een doel als 'demping van de afvoerdynamiek' vraagt om een stroomgebiedsbrede aanpak. Ook herstel van de transversale en longitudinale gradiënten vragen een grootschalige aanpak. Het heeft daardoor de voorkeur om vanuit een stroomgebiedsbrede systeemanalyse maatregelen te selecteren en gericht inzetten op een systeembreed effect.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
integrale aanpak herstel	koppel stroomgebiedsbrede ecologische systeemanalyse met begeleidende adaptieve monitoring voor afstemming en effectiviteit van maatregelen.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
herstelmaatregelen afstemmen op toekomstige afvoerscenario's	om klimateffecten als piekbuien en droogte op te kunnen vangen, zijn voor een aantal situaties aanvullende morfologische maatregelen nodig die passen bij de toekomstige afvoer. Ook hierbij is een stroomgebiedsbrede analyse aan te raden.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

4 Conclusies en aanbevelingen

De verkenning van potentiële bodem-water-functies in beekdalen op hogere zandgronden geeft aan dat ieder beekdal de potentie heeft om water te infiltreren of vast te houden. Voor geen van de beekdalen is een overwegend afspoelende bodemlaag gevonden. **Dat maakt ieder functionerend beekdal in principe geschikt om de waterbergende en -afvoerende processen beter op elkaar af te gaan stemmen.** Dit is de kern van het natuurlijke functioneren van een beekdal. **De beste investering om wateropgaven in de beekdalen te kunnen opvangen is het herstellen van de functionele hydrologie.** Dit betekent dat water bovenstrooms kan infiltreren en vastgehouden wordt en via vertraagde afstroming beschikbaar komt voor de lagere delen van het beekdal. Herstel van grondwaterpeilen en herstel van de interacties tussen beek en beekdal via de longitudinale en transversale gradiënt zijn hiervoor van belang. **Ook is er meer ruimte nodig om de beek in tijden van hoge aanvoer buiten zijn oevers te kunnen laten treden.** In deze overstromingsgebieden kan water inunderen en infiltreren, waardoor de grondwaterlichamen aangevuld kunnen worden. Of hydrologisch herstel voldoende is om wateroverlast en droogte als gevolg van klimaat-effecten op te kunnen vangen is nog de vraag. Dit hangt af van de toekomstige wateraanvoer, van de (ruimtelijke) capaciteit in het beekdal om water te kunnen bergen en van de ruimte die in de multifunctionele beekdalen beschikbaar is voor natuurlijke beekdalzones en hun processen.

In de actuele situatie zijn beekdalen sterk aangepast aan gebruiksfuncties. De landschappelijke beekdalen bestaan nu overwegend uit landbouwgronden, gecombineerd met bebouwd gebied en natuur. Het zijn multifunctionele beekdalen. Verkend is waar en op welke schaal potentie is in deze multifunctionele beekdalen voor de bodem-water-functies water vasthouden en infiltratie. Het is op basis van gebruikte informatie echter onduidelijk of en hoe de potentiële bodem-water-functies in de beekdalen momenteel benut worden. In sommige landbouwgebieden kan het water infiltreren op de percelen, op andere plekken wordt bij hetzelfde type landgebruik water onttrokken. De gebruikte kaarten geven geen inzicht in het watergebruik of het hydrologisch functioneren van het beekdal. Zo blijft het onduidelijk in hoeverre de beekdalprocessen nog functioneel zijn en welke investering nodig zal zijn om de functionaliteit van het beekdal zodanig te verbeteren dat het beekdal ingezet kan worden als klimaatbuffer.

Op basis van de ruimtelijke beekdaltypering uit de analyses in dit project ontstaat wel een globaal inzicht waar kansen bestaan voor infiltratie en het vasthouden van water. De huidige kanskaart geeft op hoofdlijnen aan waar wateropgaven in beekdalen kunnen ontstaan en met welke gebruiksfuncties deze samenkomen. De landelijke kanskaart is echter grofmazig en weinig gebiedsspecifiek. **De huidige kanskaart voor het vasthouden of infiltreren van water in natuurlijkere beekdalen kan dan ook alleen met de nodige voorzichtigheid gebruikt worden in globale analyses.** De methode uit dit project levert echter wel bouwstenen voor het werken met een kanskaart in de vorm van aangemaakte kaartlagen voor beekdalen. Een stappenplan geeft aan hoe deze kaartlagen ingezet kunnen worden om kansen en knelpunten met betrekking tot wateropgaven ruimtelijk inzichtelijk te maken in de vorm van een kansen/knelpuntenkaart.

Verbeterde kanskaarten kunnen in de toekomst een ankerpunt gaan bieden voor beleidsdiscussies en -verkenningen en handelingsperspectieven. Er is daarbij nog veel te winnen en er zijn verschillende kanskaarten te maken. Hoe een kanskaart eruit gaat zien, hangt samen met het te verkennen vraagstuk. Bij een verkenning worden voor het vraagstuk relevante kaartlagen gecombineerd. Een vraagstuk over 'kansen voor natuurinclusieve landbouw' vraagt heel andere keuzecombinaties dan een vraagstuk gerelateerd aan 'wateroverlast in bebouwde gebieden'. Het is complex om uiteenlopende vraagstukken te vangen in één generiek overzicht op landelijke schaal. De gemaakte kaartlagen bieden een brede range aan informatie om kansen voor verschillende vraagstukken te gaan verkennen. Via het keuzeprocess (stappenplan) ontstaat uit deze informatie een op het vraagstuk afgestemde kanskaart die ingezet kan worden bij beleidskeuzes. Het maken van passende beleidskeuzes voor het investeren in beekdalherstel vragen om verdieping en een meer lokaal georiënteerde analyse. Beekdalprocessen zijn complex en beekdalspecifiek en ieder beekdal kent andere bestuurlijke actoren. Door op een gebied in te

zoomen kan gedetailleerdere informatie ingezien worden over het beekdal. Op dat schaalniveau kan door lokale experts ook extra informatie in het proces van het maken van kansencarten worden ingebracht.

De huidige kaarten zijn inzetbaar als vertrekpunt voor globale analyses, om te verkennen waar wateropgaven spelen, welke gebruiksfuncties betrokken zijn, en voor welk gebied verdere verdieping gewenst is. Het schaalniveau van de huidige kaartlagen is echter te grof om passende oplossingen met betrekking tot het herstellen van beekdalprocessen af te leiden. De effectiviteit van maatregelen voor het verbeteren van waterbeschikbaarheid in beekdalen hangt sterk samen met de actuele situatie in de gebieden. Wat zijn bijvoorbeeld de actuele grondwaterstanden in een potentiële infiltratiezone? Wat is de ruimte voor infiltratie of begroeiing van een beekdalflank die veelbelovend lijkt voor vertraagde afvoer? Wat zijn geplande beheer- of herstelmaatregelen in de gebieden? En in hoeverre dragen deze bij aan het oplossen van de wateropgaven? Antwoord op deze vragen wordt niet gevonden op de schaal van de kaartlagen. **Een verkenning met een kansencart kan wel aangeven welke gebieden relevant zijn voor wateropgaven, en zo helpen om relevante gebieden te selecteren waarvoor nadere gebiedsverkenningen gewenst zijn.** Via gebiedsstudies kan gespecificeerd worden hoe het beekdal functioneert en kunnen handelsperspectieven voor het aanpakken van wateropgaven via beekdalherstel specifiek gemaakt worden.

Vanuit de kaartenanalyse zijn beekdaltypen gekoppeld aan potentiële herstelmaatregelen. **Hiermee ontstaat inzicht in de zoekgebieden voor een handelsperspectief, alsmede dat in beekdalen herstelmaatregelen gericht moeten zijn op hydrologisch herstel waarbij transversale en longitudinale gradiënten weer gaan functioneren en geleidelijke nat-droog-overgangen ontstaan.** Naast de generieke maatregelen voor hydrologisch herstel als verwijderen van drainagemiddelen en ruimte voor inundatie is voor de groepen beekdalen die in deze studie onderscheiden worden op basis van hun ecohydrologie naar een meer specifiek handelsperspectief gezocht. Een volgende uitdaging is om met aanvullende informatie of gebiedsanalyses de actuele status van het beekdal m.b.t. ecohydrologisch functioneren ruimtelijk zichtbaar te maken.

Suggesties voor vervolgonderzoek moeten zich richten op de uitwerking van een concrete vraag: Wat kan er waar? Om deze vraag te beantwoorden kunnen bijvoorbeeld de volgende middelen en activiteiten een bijdrage leveren:

- Grondwaterkaarten geven een beeld van de waterverzadiging van de beekdalbodems.
- LIDAR-vegetatiekaarten geven een indruk van de inrichting/begroeiing van de beekdalflanken.
- Interviews met lokale beheerders en beleidsmakers (provincies/water- en terreinbeherende organisaties/agrarische sector) dragen bij om wateropgaven en het huidige beekdalfunctioneren in een gebied specifiek te maken. Een maatregeleninventarisatie is hierbij behulpzaam: Wat staat er al gepland, worden met de geplande maatregelen wateropgaven aangepakt?
- De kansencart kan verfijnd worden door casestudies in representatieve beken voor de verschillende beekdaltypen uit te voeren. De bevindingen uit de casestudies kunnen vervolgens geëxtrapoleerd worden naar vergelijkbare situaties binnen hetzelfde type.

Literatuur

- Aggenbach, C. J. S., Groenendijk, D., Kemmers, R. H., Kleef, H. V., Smolders, A. J. P., Verberk, W. C. E. P., & Verdonschot, P. F. M. (2009). Preadvies beekdallandschappen: knelpunten, kennislacunes en kennisvragen voor natuurherstel in beekdalen (No. 2009/dk107-O). Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Directie Kennis.
- Aggenbach, C., Bekker, R., Vegter, U., & de Vries, H. (2009a). Perspectieven voor herstel van beekdallandschappen. *De Levende Natuur*, 110(3): 138-142.
- Altenburg, W., Arts, G., Baretta-Bekker, J.G., van den Berg, M.S., van den Broek, T., Buskens, R., Bijkerk, R., Coops, H.C., van Dam, H., van Ee, G. & Evers, C.H.M. (2018). Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2027 STOWA rapport nummer 2018-49.
- Higler, L.W.G. & A.W.M. Mol (1984). Ecological types of running water based on stream hydraulics in The Netherlands. *Hydrobiological Bulletin* 18: 51-57.
- Kemmers, S.P.J. van Delft, M.C. van Riel, P.W.F.M. Hommel, A.J.M. Jansen, B. Klaver, R. Loeb, J. Runhaar en H. Smeenge (2011). *De landschapsleutel, een leidraad voor een landschapsanalyse*. Alterra, Wageningen.
- Mol, A. W. (1986). Hydrobiologische districten in Nederland. *De Levende Natuur*, 87(3): 79-86.
- STOWA (2020) Praatplaat klimaatbestendig beekdallandschap. publicatienummer 2019-34. <https://www.stowa.nl/publicaties/praatplaat-klimaatbestendig-beekdallandschap>.
- Van Delft, S.P.J. & G. J. Maas (2015). *De Landschapsleutel Online*. <https://landschapsleutel.wur.nl/>. Alterra, Wageningen.
- Van der Burg, R. F., Brouwer, E., Bijlsma, R. J., van der Burg, A., van Duinen, G. A., Hommel, P. W., A.J.M. Jansen, E.C.H.E.T. Lucassen & de Waal, R. W. (2014). Preadvies voor herstel en ontwikkeling van vochtige bossen op de pleistocene zandgronden. Vereniging van Bos-en Natuurterreineigenaren.
- Verdonschot, P. (2010). Het brede beekdal als klimaatbestendige buffer in de veranderende leefomgeving. Flexibele toepassing van het 5b-concept in Peel en Maasvallei. Alterra, Wageningen UR.
- Verdonschot, P. F. M., Lototskaya, A. A., & Verdonschot, F. (2010). Breed beekdal als klimaatbestendige buffer. *H2O: tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling*, 43(6): 17-19.
- Verdonschot, P. F., Runhaar, H., Hendriks, D., & Verdonschot, R. C. (2017a). Integraal natuurherstel in beekdalen: Ontwikkeling van diffuse afvoersystemen, gedempte afvoerdynamiek en beekprofielherstel. Rapport 2017/215-BE. Vereniging van Bos-en Natuurterreineigenaren, Driebergen.
- Verdonschot P.F.M., Verdonschot R.C.M., Jansen P.C., Massop H.T.L. & Grootjans A.P. (2017b). Advies inrichting en beheer beekdal Geeserstream. Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research (Alterra), Wageningen UR, Wageningen.

Verantwoording

WOT-technical report: 245

BAPS-projectnummer: WOT-04-011-037.22

Dit project werd begeleid door Rogier Pouwels (Wageningen Environmental Research) en Arjan van Hinsberg, Frank van Gaalen en Rienk Kuiper van PBL. De auteurs bedanken allen voor hun bijdrage aan het tot stand komen van deze rapportage.

Akkoord Extern contactpersoon

functie: Senior wetenschappelijk onderzoeker PBL

naam: Arjen van Hinsberg

datum: 23-5-2023

Akkoord Intern contactpersoon

naam: Rogier Pouwels

datum: 25-5-2023

Bijlage 1 Overzicht gebruikte kaarten

Tabel B1.1 Overzicht van in het project toegepast bestaand kaartmateriaal.

Kaartnaam	Referentie	Gebruikte informatie
Beekdalenkaart uit de landschapssleutel (beekdalen 10_20_30_40)	LBK Beekdallandschap versie 20210119.mxd/ van Delft et al. 2021	Beekdalen op hogere zandgronden in Nederland
De Bodemkaart van Nederland 250	Bodem250.gdb bodemkaart op hoofdtypen	Geomorfologie in Nederland
Hoogtelijnenkaart	AHN 3-5m	Hoogtelijnen
KRWLDs_Basins, hydrologische kaart met deelstroomgebieden	Nederlands Hydrologisch Instrumentarium, KRW.gdb	Afwatering, deelstroomgebieden, bassins in Nederland
KRWLDs links: stroming tussen deelgebiedjes	Nederlands Hydrologisch Instrumentarium KRW.gdb	Afwatering, stroming, hydrologische connectie tussen deelstroomgebieden in Nederland
Tabel/kaartlaag Gilbert Maas	Landschappelijke bodemkaart WUR https://landschapssleutel.wur.nl/ . Wageningen: Alterra.	Vormingswijze en hoogteligging, substraateigenschappen en hydrologie
Grondwaterkaart 2018	Gt2018	Grondwatertrappen van Nederland
Diverse kaarten uit de Klimaateffectenatlas	https://www.klimaateffectatlas.nl/nl/	Verwachte klimaateffecten m.b.t. droogte, wateroverlast Beekdalen kans grondwateroverlast 2050, Beekdalen kans kwel en infiltratie 2050, Beekdalen kans kwelwegzijing 2050, Oppervlaktewatertekort gem. jaar huidig, 2050, Overstromingskans in beekdalen 2050
Landgebruik	LGN2020 en CORINE landcover 2018 (CLC2018)	Landgebruik specificatie m.b.t. landbouw, natuur en bebouwde gebieden
Oppervlaktewater waterschappen	Waterschappen hydrografie INSPIRE (ATOM), waterloop	Oppervlaktewateren in Nederland
KRW-waterlichamen	Basiskaart Aquatisch: de watertypenkaart (PBL)	KRW-oppervlaktewaterlichamen in Nederland
Hydrobiologische districten	Kaarten uit publicatie Mol (1986)	Hydrobiologische districten karakterisering
Waterbergingskaart		
Achtergrond		

Tabel B1.2 In het project aangemaakte kaartlagen.

Naam kaartlaag	Samengesteld uit bron	Toelichting
Kaartlaag 1_stroomgebiedbegrenzing beekdalen	LBK Beekdallandschap versie 20210119.mxd/ Van Delft et al. 2021 Gecombineerd met: Nederlands Hydrologisch Instrumentarium, KRW.gdb.	Stroomgebieden voor de beekdalen op hogere zandgronden gebaseerd op hydrologische verbindingen.
Kaartlaag 2_geomorfolgie in beekdalen	LBK Beekdallandschap versie 20210119.mxd/ Van Delft et al. 2021 Gecombineerd met: Bodem250.gdb.	Landschappelijke geomorfologische elementen voor beekdalen op hogere gronden.
Kaartlaag 3_hydromorfologie in beekdalen	LBK Beekdallandschap versie 20210119.mxd/ Van Delft et al. 2021 Gecombineerd met: Specificatie fysisch geografische elementen (FG250 Series, Landschappelijke bodemkaart https://landschapsleutel.wur.nl/ . Alterra, Wageningen. Vervolgens nieuwe kolom aangemaakt voor 'waterfunctie' gerelateerd aan: FG250 series.	Landschappelijke geografische elementen voor beekdalen op hogere gronden.
Kaartlaag 4_bodemwaterfuncties in beekdalen	LBK Beekdallandschap versie 20210119.mxd/ Van Delft et al. 2021 Gecombineerd met: Specificatie fysisch geografische elementen (FG250 Series, Landschappelijke bodemkaart https://landschapsleutel.wur.nl/ . Alterra, Wageningen: Vervolgens nieuwe kolom aangemaakt voor 'waterfunctie' gerelateerd aan FG250 series.	Potentiële bodemwaterfuncties in beekdalen op hogere gronden.
Kaartlaag 5_ruimtelijke ecohydrologische beekdalentypologie	LBK Beekdallandschap versie 20210119.mxd/ Van Delft et al. 2021 Gecombineerd met: Aggenbach (2009) en Mol (1986). Onderdelen op de beekdalenkaart zijn geselecteerd, voor ieder type zijn shape-files aangemaakt.	Ecohydrologische beekdaltypen in beekdalen op hogere gronden.
Kaartlaag 6_laagten in beekdalen	LBK Beekdallandschap versie 20210119.mxd/ Van Delft et al. 2021 Gecombineerd met: Nederlands Hydrologisch Instrumentarium, KRW.gdb. De deelstroomgebiedjes waarin waterstromen samenkomen zijn geselecteerd als laagten. Voor de laagten is een shape-file aangemaakt.	Laagten in stroomgebieden van beekdalen op hogere gronden.
Kaartlaag 7_overzicht groeperingen van beekdalen	Beekdalstroomgebieden zijn gekleurd op basis van groeperingen naar beekdalenmerken.	Overeenkomsten tussen beekdaltypen op basis van clusterings van beekdalenmerken.
Kaartlaag 8_landgebruik in beekdalen	LBK Beekdallandschap versie 20210119.mxd/ Van Delft et al. 2021 Gecombineerd met: CORINE landuse kaart, CORINE landcover 2018 (CLC2018).	Landgebruikstypen in beekdalen.

Bijlage 2 Vertaaltabel naar bodem-water-functies

Tabel B2.1 Een overzicht van de fysisch-geografische elementen waaraan een bodem-water-functie (water vasthouden, infiltreren of afspoeling) toegekend is.

FG_Type in kaart Van Delft & Maas (2015)	Potentiële bodem-water-functie
PS001 - Initiële droge basenarme zandgronden	infiltreren
PS002 - Initiële vochthoudende basenarme zandgronden	vasthouden
PS003 - Initiële vocht- en basenhoudende zandgronden	vasthouden
PS004 - Atmosotrofe droge basenarme zandgronden	infiltreren
PS005 - Droge mineraalrijke zandgronden	infiltreren
PS006 - Wisselvochtige mineraalrijke keileemgronden (met schijnspiegels)	vasthouden
PS007 - Atmosotroof (hoog)veen	vasthouden
PS008 - Moerige atmosferotrofe grond op zand (overgangsveen)	vasthouden
PS010 - Atmosotrofe basenarme zandgrond met stagnerend regenwater en schijnspiegels	vasthouden
PS011 - Atmosotrofe vochtige zandgronden	vasthouden
PS012 - Minerotrofe zandgronden met lateraal toestromend zacht grondwater	vasthouden
PS013 - Lithotrofe zandgrond gevoed door zwakke kwel	vasthouden
PS014 - Beek- of rivierkleien gevoed door lokale zwakke kwel	vasthouden
PS016 - Lithotrofe moerige grond op zand met sterke kwel	vasthouden
PS017 - Lithotrofe veengrond met matige regionale kwel	vasthouden
PS018 - Lithotrofe veengrond met matige regionale kwel met zanddek	vasthouden
PS019 - Eutrofe, matig basenrijke veengronden	vasthouden
PS020 - Droge lössleemgronden	afspoeling
PS022 - Laaggelegen leemgronden	vasthouden
PS026 - Zoet en zwak brak verlandingsveen	vasthouden
PS027 - Eutrofe, basenrijke bos- en broekveengronden	vasthouden
PS028C - Rivierstranden (kalkarm)	infiltreren
PS029A - Lage oeverwallen en stroomruggen (kalkrijk)	infiltreren
PS029C - Lage oeverwallen en stroomruggen (kalkarm)	infiltreren
PS030A - Laaggelegen uiterwaardvlakten (kalkrijk)	vasthouden
PS030C - Laaggelegen uiterwaardvlakten (kalkarm)	vasthouden
PS031C - Rivierduinen, zandige oeverwallen en pleistocene zandgronden (kalkarm)	infiltreren
PS032C - Hoge oeverwallen en stroomruggen (zavel) (kalkarm)	afspoeling
PS034C - Grofzandige rivierzandgronden (kalkarm)	infiltreren
PS035C - Fijnzandige rivierzandgronden (kalkarm)	infiltreren
PS036C - (Rivier)zandgronden met een kleidek (Kalkarm)	afspoeling
PS037A - Binnendijkse zavel- en lichte kleigronden (kalkrijk)	afspoeling
PS037C - Binnendijkse zavel- en lichte kleigronden (kalkarm)	afspoeling
PS037zC - Binnendijkse zavel- en lichte kleigronden, met zand binnen 120 cm (kalkarm)	afspoeling
PS039 - Kleieerdgronden	vasthouden
PS040 - Matig basenarme Oude rivierkleigronden	vasthouden
PS042A - Kalkrijke, vochtig tot natte zeekleigronden	vasthouden

FG_Type in kaart Van Delft & Maas (2015)	Potentiële bodemwater-functie
PS042C - Kalkarme, vochtig tot natte zeekleigronden	vasthouden
PS043A - Kalkrijke, afgesloten strandvlaktes en kreekruggen	infiltreren
PS058 - Terrassen met siltige leembodem zonder duidelijke hydromorfe kenmerken	afspoeling
PS059 - Terrassen met zandige leembodem zonder duidelijke hydromorfe kenmerken	afspoeling
PS060 - Terrassen met sterk stagnerende leembodem	afspoeling
PS064 - Kalkarme lösshellingen	afspoeling
PS066 - Hellingen met kalkarm hellingmateriaal of solifluctiedek	afspoeling
PS070 - Hellingen met ondiepe kalkverwering	afspoeling
PS071 - Kalkwanden	afspoeling
PS074 - Hellingen met glauconietklei	afspoeling
PS075 - Droge dalbodem (in droogdalen en kleine beekdalen)	infiltreren
PS076 - Natte laagte (in droogdalen en kleine beekdalen)	vasthouden
PS077 - Moerassige laagte (in kleine beekdalen)	vasthouden
PS111 - Hoge zandgronden met een zwart bouwlanddek	infiltreren
PS112 - Hoge zandgronden met een bruin bouwlanddek	infiltreren
PS113 - Humeuze zandgronden met kwel (lage enkeerden)	vasthouden
W - Water	-

Bijlage 3 Typologie Aggenbach et al. 2009

Tabel B3.1 Specificatie van de ecohydrologische typologie beken en beekdalen opgesteld door Aggenbach et al. (2009).

Positie in stroomgebied/ geomorfologie/ verval	Toevoer water	Basenrijkdom/ bodem	Naam hydro- ecologische beekdaltype	Kenmerken bronnen en beken: permanentie, stroomsnelheid, morfologie, basenrijkdom
Natte infiltratiegebieden met lokale kwel hoge delen in zandgebieden, (zwak hellend) heuvelland periodiek langdurige inundatie met stagnerend of zwak stromend water	regenwatervoeding hooguit zeer lokale kwel in natte periode uit direct aanliggende ruggen	basenarm	1A Natte infiltratiegebieden met lokale kwel: basenarm	1a1 Geen laaglandbeken, wel plaatselijk tijdelijk, zuur, stilstaand tot zwak stromend, ondiep water op maaiveld
		matig basenrijk	1B Natte infiltratiegebieden met lokale kwel: matig basenrijk	1b1 Geen laaglandbeken, wel plaatselijk tijdelijk, zwak zuur tot neutraal, stilstaand tot zwak stromend, ondiep water op maaiveld
		basenrijk kalkhoudende bodems	1C Natte infiltratiegebieden met lokale kwel: kalkrijk/ basenrijk	1c1 Geen laaglandbeken, wel plaatselijk tijdelijk, neutraal tot basisch, stilstaand tot zwak stromend, ondiep water op maaiveld
Afvoerloze laagte laagten in oorspronggebied of op beekdalflanken van zandgebieden met periodiek langdurige inundatie met stagnerend of zwak instromend water	lokale kwel	met kalk in topsysteem, kwel basenrijk	2A Afvoerloze laagte: lokale basenrijke kwel	2a1 Afvoerloze laagte (periodiek watervoerend) in oorspronggebied of op beekdalflanken
	met in- of doorstroming van beekwater	matig basenrijk tot basenrijk	2B Afvoerloze laagte: in- of doorstroming beekwater, matig basenrijk tot basenrijk	2b1 Beekbegeleidend zwak zuur tot neutraal kwelgebied, zonder of met lage afvoer 2b2 Beekbegeleidend neutraal tot basisch kwelgebied, zonder of met lage afvoer
Weinig hellende beekdalen met kwel beekdalen in zandgebieden inclusief keileemplateaus laaglandbeken met langzame stroming	lokale (sterke) kwel	basenarm	3A Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, basenarm	3a1 Droogvallende, zure, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes
				3a2 Droogvallende, zure, langzaam stromende boven- of middenlopen
				3a3 Permanente, zure, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes
				3a4 Permanente, zure, langzaam stromende boven- of middenlopen
	lokale kwel	matig basenrijk lemige zand- en leemgronden	3B Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, matig basenrijk	3b1 Droogvallende, zwak zure tot neutrale bronnen of bovenloopjes
				3b2 Droogvallende, zwak zure tot neutrale, langzaam stromende boven- of middenlopen
				3b3 Permanente, zwak zure tot neutrale, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes
				3b4 Beekmoeras
	lokale kwel	basenrijk met kalk in topsysteem	3C_1 Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, kalk in topsysteem, basenrijk	3c1 Droogvallende, neutrale tot basische, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes
				3c2 Droogvallende, neutrale tot basische, langzaam stromende boven- of middenlopen

Positie in stroomgebied/ geomorfologie/ verval	Toevoer water	Basenrijkdom/ bodem	Naam hydro- ecologische beekdaltype	Kenmerken bronnen en beken: permanentie, stroomsnelheid, morfologie, basenrijkdom
Weinig hellende, vlakke beekdalen met sterke (voormalige) slibafzetting beekdalen op overgangen zandgebied naar Holoceen en overgangen Pleistoceen- Holoceen zonder duidelijke beekdal laaglandbeken met langzame stroming				3c3 Permanente, neutrale tot basische, langzaam stromende bronnen of bovenloopjes
	zwakke regionale kwel	basenrijk	3C_2 Weinig hellende beekdalen met kwel: zwakke regionale kwel, basenrijk	3c4 Permanente, neutrale tot basische, langzaam stromende boven- of middenlopen
	sterke regionale kwel	basenrijk	3C_3 Weinig hellende beekdalen met kwel: sterke regionale kwel, basenrijk	3c5 Beekbegeleidend beekmoeras
	lokale kwel lemige zand- en leemgronden overstroming met slibrijk beekwater	matig basenrijk	3D Weinig hellende beekdalen met kwel: lokale kwel, overstroming, matig basenrijk	3d1 Permanente, zwak zure tot neutrale, langzaam stromende boven- of middenlopen 3d2 Beekmoeras
	overstroming van slibrijk water (sterke) bovenlokale/ regionale kwel	basenrijk	4A Weinig hellende beekdalen met kwel: bovenlokale/regionale kwel, overstroming, basenrijk	4a1 Inunderende neutrale tot basische, langzaam stromende benedenlopen of riviertjes 4a2 Beekbegeleidende matig voedselrijke tot voedselrijke wateren
	overstroming van slibrijk water stagnatie en wat lokale kwel	matig basenrijk tot basenrijk	4B Weinig hellende beekdalen met slibafzetting: overstroming, stagnatie, weinig lokale kwel	
	lokale kwel periodieke regionale kwel	matig basenrijk tot basenrijk grondwater (kalk)rijke kleigronden	4C Weinig hellende beekdalen met (voormalige) slibafzetting: (kalk)rijke klei, lokale kwel, periodieke regionale kwel	
Sterk hellend, hoge beekdalen met lokale kwel 'hoge' beekdalen op stuwwallen, heuvelland, diep ingesneden beekdalen in plateauranden intermediaire en heuvellandbeken met matige tot snelle stroming	sterke kwel in reliëfrijk gebied	basenarm-matig basenrijke variant	5A Sterk hellend, hoge beekdalen met lokale kwel: sterke kwel, basenarm-matig basenrijk	5 Droogvallende, zure, stromende bronnen of bovenloopjes 5a1 Droogvallende, zwak zure tot neutrale, stromende tot snel stromende bronnen en bovenloopjes 5b1 Permanente, zwak zure tot neutrale, stromende tot snel stromende bronnen en bovenloopjes
	sterke kwel in reliëfrijk gebied	basenrijke variant eventueel met kalk in topstysteem	5C Sterk hellend, hoge beekdalen met lokale kwel: basenrijk, evt. kalk in topsysteem	5c1 Permanente, zwak zure tot neutrale, stromende tot snel stromende boven- en middenlopen 5c2 Permanente, neutrale tot basische, stromende tot snel stromende boven- en middenlopen 5c3 Beekmoeras (=1a1)
				5d1 Permanente, neutrale tot basische, stromende tot snel stromende bronnen en bovenloopjes
Sterk hellend, lage beekdalen met kwel diepe dalen in heuvelland heuvellandbeken met matige tot snelle stroming	sterke regionale kwel, eventueel ook lokale kwel overstroming met slibrijk beekwater	basenrijk grondwater basenrijke leem- en kleibodem	6A Sterk hellend, lage beekdalen: regionale kwel, overstroming, basenrijk	6a1 Permanente, neutrale tot basische, snelstromende benedenlopen of riviertjes

Voor beide typologieën worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- de typen relateren aan een geomorfologische en hydrologische positie in het stroomgebied;
- koppelen van typen aan hydrologische, morfologische en chemische processen;
- koppelen van standplaatseigenschappen en levensgemeenschappen aan processen.

Recent verschenen WOt-technical reports

213	During, R., R.I. van Dam, J.L.M. Donders, J.Y. Frissel, K. van Assche (2022). <i>Veerkracht in de relatie mens-natuur; De cursus omgaan met tegenslag gaat morgenavond wederom niet door (Herman Finkers)</i>	225	Schaminée, J.H.J. & N.M. van Rooijen (2022). <i>Het heft in eigen hand; Een verkenning naar wettelijke verplichtingen voor het behoud van botanische biodiversiteit in ons land die voortkomen uit internationale verdragen.</i>
214	Sanders, M.E., G.W.W. Wamelink, R. Jochem, H.A.M. Meeuwsen, D.J.J. Walvoort, R.M.A. Wegman, H.D. Roelofsen, R.J.H.G. Henkens (2022). <i>Milieuecondities en ruimtelijke samenhang natuurgebieden; Technische achtergronden indicatoren digitale Balans van de Leefomgeving 2020.</i>	226	Commissie Deskundigen Meststoffenwet (2022). <i>Advies Mestverwerkingspercentages 2022 & Verkenning 'contouren toekomstig mestbeleid'.</i>
215	Chouchane H., A. Jellema, N.B.P. Polman, P.C. Roebeling (2022). <i>Scoping study on the ability of circular economy to enhance biodiversity; Identifying knowledge gaps and research questions.</i>	227	Kramer, H. & S. Los (2022). <i>Basiskaart Natuur 2021; Een landsdekkend basisbestand voor de terrestrische natuur in Nederland.</i>
216	Bakker, G. (2022). <i>Hydrofysische gegevens van de bodem; Uitbreiding gegevens in 2021 en overdracht naar de Basisregistratie Ondergrond.</i>	228	Ehlert, P.A.I., L. Veenemans, H.J. Smit, P.A.C. Suyker, K. Dallinga, H.H.J. Walthaus, P.H.J. Goorhuis, W.M.J.A. Duret en O. Oenema (2022). <i>Verkenning van mogelijke wijzigingen in de Meststoffenwet door implementatie van verordening (EU) nr. 2019/1009; Opties voor nationale bepalingen voor vrij handelsverkeer.</i>
217	Arets, E.J.M.M., S.A. van Baren, H. Kramer, J.P. Lesschen & M.J. Schelhaas (2022). <i>Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands; Methodological background, update 2022.</i>	229	Groot, G.A., J. Bovenschen, M. Laar, N. Villing, D.R. Lammertsma & H.A.H. Jansman (2022). <i>Status van de Nederlandse otterpopulatie: genetische variatie, mortaliteit en infrastructurele knelpunten in 2021.</i>
218	Schalkwijk, L. van, M.J.L. Kik, A. Gröne & L.L. IJsseldijk (2022). <i>Postmortaal onderzoek van bruinvissen (Phocoena phocoena) uit Nederlandse wateren, 2021; Biologische gegevens, gezondheidsstatus en doodsoorzaken.</i>	230	Braakhekke, M. C., D. van Kraalingen, A. Tiktak, F. van den Berg, J.J.T.I. Boesten (2022). <i>FOCUSPEARL version 5.5.5 - technical description of the database.</i>
219	Ehlert, P.A.I., R.P.J.J. Rietra, P.F.A.M. Römkens, L. Timmermans & L. Veenemans (2022). <i>Effectbeoordeling van invoering van Verordening EU/2019/1009 op de aanvoer van zware metalen in Nederland.</i>	231	Kruijne, R., D. van Kraalingen and J.A. te Roller (2022). <i>User manual for the Groundwater Atlas for pesticides version 2022.</i>
220	Faber M. & M.H.M.M. Montforts (2022). <i>Organic contaminants in fertilising products and components materials.</i>	232	Kramer, H. & J. Clement (2022). <i>Basiskaart Natuur 2017; Een landsdekkend basisbestand voor de terrestrische natuur in Nederland.</i>
221	Boonstra F.G. en R. Folkert (red.) (2022). <i>Methodeontwikkeling kosteneffectiviteit natuurbeleid; Lessen voor de Lerende Evaluatie Natuurpact.</i>	233	Wamelink G.W.W., L. Biersteker, H.D. Roelofsen, R. Jochem, J.G.M. van der Gref, B. de Knecht en R.J.H.G. Henkens (2022). <i>Model for Nature Policy - MNP; Automatisering validatie, automatisering draagkrachten, rekenmethode van de randvoorwaarden binnen MNP en gevoeligheids- en onzekerheidsanalyse.</i>
222	Meeuwsen, H.A.M. & G.W.W. Wamelink (2022). <i>Neerschaling beheertypenkaarten; Methode zoals gebruikt bij ex-anteanalyse Natuurpact.</i>	234	Thouément, H.A.A, W.H.J. Beltman, M.C. Braakhekke (2022). <i>Manual for the TOXSWA SedDis Tool v1; Testing segmentation of the sediment layer in TOXSWA.</i>
223	Os, J. van, en J. Kros (2022). <i>Geografische Informatie Agrarische Bedrijven 2019; Documentatie van het GIAB 2019-bestand.</i>	235	Glorius, S.T. & A. Meijboom (2022). <i>Ontwikkeling van enkele droogvallende mosselbanken in de Nederlandse Waddenzee; periode 1995 tot en met 2021.</i>
224	Bruggen, C. van, A. Bannink, A. Bleeker, D.W. Bussink, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J. Kros, L.A. Lagerwerf, H.H. Luesink, M.B.H. Ros, M.W. van Schijndel, G.L. Velthof en T. van der Zee (2022). <i>Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2020.</i>	236	Knecht, B. de, L. Biersteker, M. van Eupen, J.G.M. van der Gref, A.H. Heidema, R. Koopman, R. Jochem, M.E. Lof, H.M. Mulder, P. van Rijn, H.D. Roelofsen, S. de Vries, I. Woltjer (2022). <i>Natural Capital Model.</i>

237	Houtkamp, J.M. (2023). <i>Visualisatietechnieken voor kennisintegratie; Het gebruik van verschillende soorten kennis in de context van beleidsvraagstukken.</i>
238	Arets, E.J.M.M., S.A. van Baren, C.M.J. Hendriks, H. Kramer, J.P. Lesschen & M.J. Schelhaas (2023). <i>Greenhouse gas reporting of the LULUCF sector in the Netherlands. Methodological background, update 2023.</i>
239	Van Schalkwijk, L., Schotanus, E.T., Kik, M.J.L., Gröne, A & IJsseldijk, L.L. (2023). <i>Postmortaal onderzoek van bruinvissen (Phocoena phocoena) uit Nederlandse wateren, 2022; Biologische gegevens, gezondheidsstatus en doodsoorzaken.</i>
240	Langers, F. (2023). <i>Recreatie in groenblauwe gebieden; Actualisatie van CLO-indicator 1258 op basis van data van het Continu Vrijetijdsonderzoek uit 2018.</i>
241	Schmidt, A.M., P.J.H. Mathijssen, R.H. Jongbloed, J.E. Tamis, A.B. Goutbeek, R. Reinartz, R. Vogel, M.E. Sanders, J.T. van der Wal en I. Woltjer (2023). <i>Advies over de Nederlandse pledges voor de Europese Biodiversiteitsstrategie 2030; Toelichting op het advies van Wageningen Research en Sovon Vogelonderzoek aan het ministerie van Landbouw Natuur en Voedselkwaliteit.</i>
242	Bruggen, C. van, A. Bannink, A. Bleeker, D.W. Bussink, H.J.C. van Dooren, C.M. Groenestein, J.F.M. Huijsmans, J. Kros, L.A. Lagerwerf, K. Oltmer, M.B.H. Ros, M.W. van Schijndel, L. Schulte-Uebbing, G.L. Velthof en T.C. van der Zee (2023). <i>Emissies naar lucht uit de landbouw berekend met NEMA voor 1990-2021.</i>
243	Lerink, B.J.W., M.J. Schelhaas, F. Dolstra, J. Oldenburger, S. Teeuwen & A.P.P.M. Clerkx (2023). <i>Veldinstructie Achtste Nederlandse Bosinventarisatie (2022-2026); Versie 1.0.</i>
244	Kruijne, R. en D.W.G. van Kraalingen (2023). <i>Overdracht van meetresultaten van provincies naar de Grondwateratlas voor bestrijdingsmiddelen, versie 2022.</i>
245	Riel, M.C. van, R.C.M. Verdonschot, P.F.M. Verdonschot (2023). <i>Natuurherstel en klimaatbuffers in beekdalen; Een verkenning van de mogelijkheden tot integratie van wateropgaven in beekdalen.</i>



Thema Periodieke Verkenning Natuurbeleid

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 54 71
E info.wnm@wur.nl
wur.nl/wotnatuurenmilieu

ISSN 2352-2739

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.600 medewerkers (6.700 fte) en 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

