

Toekomstverwachtingen en landschappelijke kenmerken als onderlegger voor een regionale visie

Onderliggende analyseresultaten voor de toekomstvisie Groene Metropoolregio 2120

Ilse Voskamp, Wim Timmermans, Hessel Woolderink, Sverre van Klaveren, Daan Verstand



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Toekomstverwachtingen en landschappelijke kenmerken als onderlegger voor een regionale visie

Onderliggende analyseresultaten voor de toekomstvisie Groene Metropoolregio 2120

Ilse Voskamp, Wim Timmermans, Hessel Woolderink, Sverre van Klaveren, Daan Verstand

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in het kader van het topsectorproject (2019 TKI; LWV 19222-04) Natuurlijk Basissysteem Klimaat Adaptatieve Stedelijke Ontwikkeling (NBKASO).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, oktober 2023

Gereviewd door:
Annemarie Groot, Teamleider Team Climate Resilience

Akkoord voor publicatie:
Annemarie Groot, Teamleider Team Climate Resilience

Rapport 3284
ISSN 1566-7197

Ilse Voskamp, Wim Timmermans, Hessel Woolderink, Sverre van Klaveren, Daan Verstand, 2023.
Toekomstverwachtingen en landschappelijke kenmerken als onderlegger voor een regionale visie; Onderliggende analysesresultaten voor de toekomstvisie Groene Metropoolregio 2120. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3284. 40 blz.; 11 fig.; 0 tab.; 79 ref.

Deze rapportage beschrijft de resultaten van de analyses die ten grondslag liggen aan de visie 'Groene Metropoolregio 2120': een ruimtelijk toekomstbeeld voor de Groene Metropoolregio Arnhem-Nijmegen, gebaseerd op de draagkracht en kenmerken van het natuurlijke systeem. De literatuurstudie behandelt toekomstige ontwikkelingen voor de thema's klimaatverandering, rivierregime, natuur, landbouw, wonen, mobiliteit, energie en economie. Middels een landschapsanalyse is inzicht verkregen in de karakteristieken van bodem, ondergrond en watersysteem in de regio. De resultaten hiervan zijn gebundeld in een landschappelijke typering van de regio met daarbij een SWOT-analyse die de belangrijkste huidige kwaliteiten, knelpunten, kansen en risico's van het bodem- en watersysteem van de onderscheiden deelgebieden samenvat.

This report describes the results of the analyses underlying the vision "Green Metropolitan Region 2120": a spatial vision for the future Green Metropolitan Region Arnhem-Nijmegen that is based on the carrying capacity and characteristics of the natural system. The literature study describes future developments for the themes climate change, river regime, nature, agriculture, housing, mobility, energy and economy. A landscape analysis has provided insight into the characteristics of the soil and water system in the region. The results of this analysis have been bundled in a map describing the main landscape types in the region. The map is accompanied by a SWOT analysis that summarizes the most important strengths, weaknesses, opportunities and threats of the soil and water system of the various landscape types.

Trefwoorden: Trendanalyse, landschapsanalyse, toekomstvisie, NL 2120, regionaal ontwerp

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/639403> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2023 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- 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.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3284 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Regiocongres 24 november 2022

Inhoud

Verantwoording	5	
1	Introductie	7
1.1	Groene Metropoolregio 2120	7
1.2	Visievormingsproces: methodische opzet	8
1.3	Analyseonderdelen	8
1.4	Leeswijzer	9
2	Resultaten literatuurstudie: trends en prognoses	10
2.1	Klimaatverandering	10
2.2	Rivierregime	13
2.3	Natuur	14
2.4	Landbouw	17
2.5	Wonen	19
2.6	Mobiliteit	20
2.7	Energie	21
2.8	Economie	22
3	Resultaten landschapsanalyse en SWOT	24
3.1	Landschappelijke typering	24
3.2	SWOT-resultaten per deelgebied	26
3.2.1	De stuwwal-plateaus	26
3.2.2	De flanken van de stuwwallen	27
3.2.3	Het rivierbed en de uiterwaarden	28
3.2.4	Stroomruggen	29
3.2.5	De komgronden	30
3.2.6	De rivierterrassen & dekzandcomplexen	31
3.2.7	Aandachtsgebieden	32
4	Slot: van analyse naar ontwerp en perspectieven	33
4.1	Ontwerp	33
4.2	Perspectieven	34
Literatuur	35	
Bijlage 1	Voormalige rivierlopen in de GMR en tijdperiode waarin deze rivierlopen zijn verlaten	39

Verantwoording

Rapport: 3284

Projectnummer: 5200046217-07

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: Teamleider Team Climate Resilience

naam: Annemarie Groot

datum: 5 oktober 2023

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Annemarie Groot

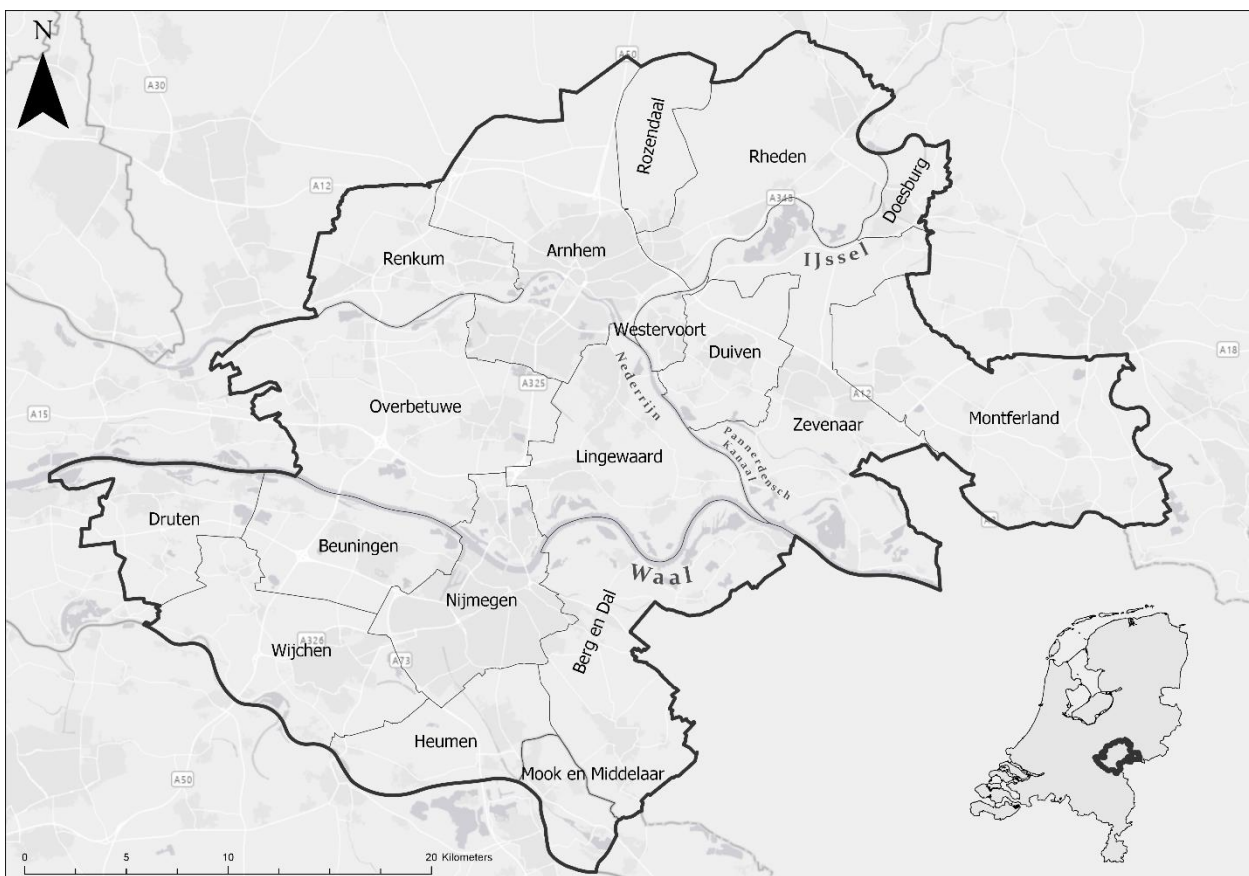
datum: 5 oktober 2023

1 Introductie

1.1 Groene Metropoolregio 2120

Deze rapportage beschrijft de resultaten van de analyses die ten grondslag liggen aan de visie 'Groene Metropoolregio 2120' (Voskamp et al., 2023). Deze visie is ontworpen in het kader van het project 'Natuurlijk Basissysteem Klimaatadaptieve Stedelijke Ontwikkeling' (NBKASO). Dit Topconsortium Kennis en Innovatie (TKI)-project benut kennis van het natuurlijke systeem voor een integrale aanpak voor stedelijke klimaatadaptatie. Gezamenlijk met belangrijke stakeholders wordt kennis van de kenmerken van het natuurlijke systeem operationeel gemaakt voor regionale en stedelijke klimaatadaptatie.

Het NBKASO- deelproject 'Groene Metropoolregio 2120' (GMR 2120) heeft als doel een ruimtelijke toekomstvisie te formuleren voor de Groene Metropoolregio Arnhem-Nijmegen in 2120 (figuur 1). Een dergelijke langetermijnvisie dient een inspirerend toekomstbeeld te schetsen, dat als stip op de horizon kan fungeren. Een toekomstbeeld dat laat zien hoe de regio in 2120 een aantrekkelijke en klimaatrobuuste leefomgeving kan zijn, die oplossingen biedt voor verschillende maatschappelijke vraagstukken. Dit beeld kan dienen als spiegel voor keuzes in de planvorming vandaag de dag. Het doel is dan ook om een pakkende visie neer te zetten, die prikkelt en de maatschappelijke discussie op gang brengt.



Figuur 1 Begrenzing Groene Metropoolregio Arnhem-Nijmegen.

1.2 Visievormingsproces: methodische opzet

Het uitgangspunt van het visievormingsproces GMR 2120 is dat de natuur en natuurlijke processen een hoofdrol spelen. Oftewel: de draagkracht en kenmerken van het natuurlijke systeem staan aan de basis van het ruimtelijke toekomstbeeld. Concreet betekent dit dat we ons vóór het maken van een toekomstbeeld – een ontwerp – richten op het doorgronden van het DNA van het landschap en dat we deze analyse als vertrekpunt nemen voor het ontwerp.

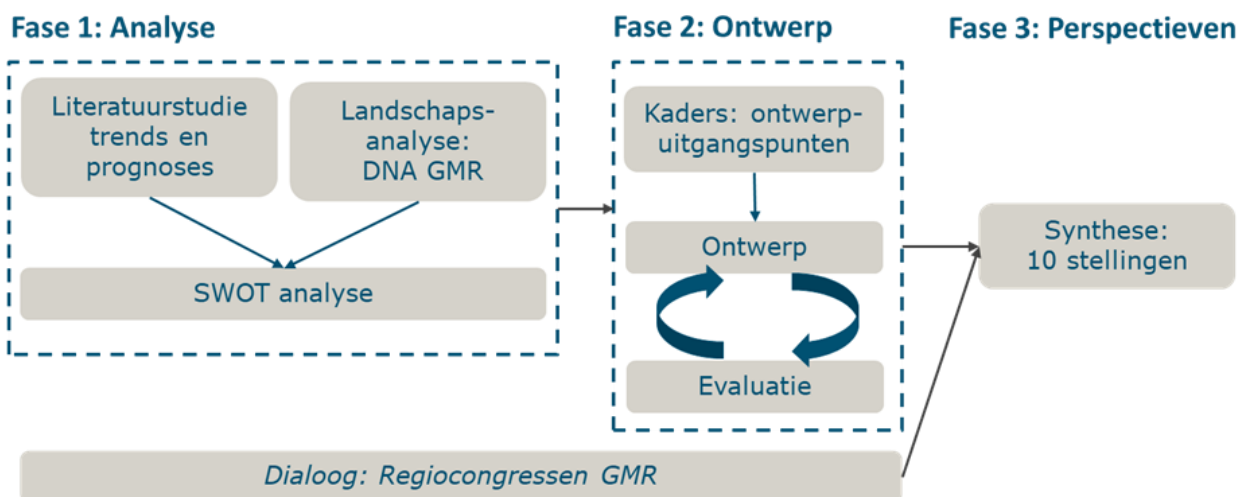
Een tweede uitgangspunt is dat de toekomstvisie moet uitnodigen om:

1. op een fundamenteel andere manier na te denken over (de toekomst van) de regio en
2. op een positieve manier met elkaar in gesprek te gaan.

De gekozen termijn van 100 jaar biedt de vrijheid om te zoeken naar fundamenteel andere oplossingen voor de maatschappelijke uitdagingen waar we voor staan en om over huidige kaders en belemmeringen heen te stappen.

Op basis van deze uitgangspunten is gekozen voor een opzet in grofweg drie stappen (zie figuur 2):

- Analyse
- Ontwerp
- Perspectieven



Figuur 2 Methodische opzet van de studie 'GMR 2120'.

NB Deze rapportage gaat in op de resultaten van fase 1; de resultaten van fase 2 en 3 worden middels een toegankelijke brochure gedeeld (Voskamp et al., 2023).

Het project is te karakteriseren als een deskstudie, met inbreng vanuit de regio op gezette momenten. Beleidsmakers, politici en andere geïnteresseerden worden middels regiocongressen aangehaakt bij het project.

1.3 Analyseonderdelen

De analysefase kent drie onderdelen (zie figuur 2): een landschapsanalyse, een studie naar trends en prognoses en een SWOT-analyse. Deze rapportage gaat in op de resultaten van deze analyses die tot doel hebben het DNA van het huidige landschap te doorgronden, om de kwaliteiten en de knelpunten van de Groene Metropoolregio in beeld te krijgen en de kansen en bedreigingen met het oog op de toekomst te identificeren.

Literatuurstudie: trends en prognoses

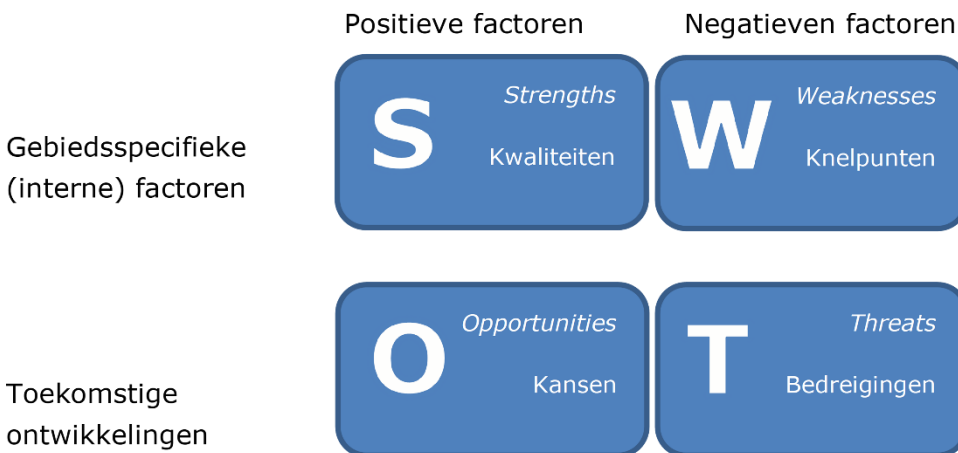
Allereerst is een analyse naar trends en prognoses uitgevoerd voor een selectie aan thema's, te weten klimaatverandering, rivierregime, wonen, economie, mobiliteit, landbouw, natuur en energie. Dat betekent dat voor ieder van de bovenstaande onderwerpen een literatuurstudie is uitgevoerd naar toekomstige ontwikkelingen per thema. Het is belangrijk te realiseren dat de literatuur veelal geen inzicht geeft in toekomstige verwachtingen op een termijn van 100 jaar. Ondanks dat de studie niet uitputtend is wat betreft thematische focus en de hierboven geschetste beperkingen ten aanzien van de termijn van de literatuur, geeft deze studie inzicht in trends en prognoses en hoe deze richting kunnen geven aan de toekomst. Op basis van de bevindingen van deze analyse worden aannames gedaan over toekomstige ontwikkelingen binnen de GMR.

Landschapsanalyse

Het doel van de landschapsanalyse is het in beeld krijgen van het huidige landschap in de Groene Metropoolregio en in het bijzonder om inzicht te krijgen in de karakteristieken van bodem, ondergrond en het watersysteem in de regio. Om dit beeld te vormen, worden kaarten en relevante literatuur bestudeerd door WENR-experts en worden enkele thematische workshops gehouden waarin experts van WENR en gebiedskenners vanuit de provincie en GMR hun kennis inbrengen. De inzichten vanuit deze analyses worden samengebracht in een typering van het landschap in deelgebieden.

SWOT-analyse

Op basis van de landschapsanalyse en de literatuurstudie wordt voor de onderscheiden deelgebieden een *SWOT-analyse* gemaakt vanuit een biofysisch/landschappelijk perspectief (zie figuur 3). Met deze analyse wordt kernachtig samengevat wat voor de onderscheiden landschapstypen de belangrijkste huidige kenmerken – kwaliteiten en knelpunten – zijn en wat de voornaamste kansen en risico's zijn met het oog op toekomstige ontwikkelingen.



Figuur 3 Elementen in een SWOT-analyse, toepasbaar gemaakt voor landschapsanalyse.

1.4 Leeswijzer

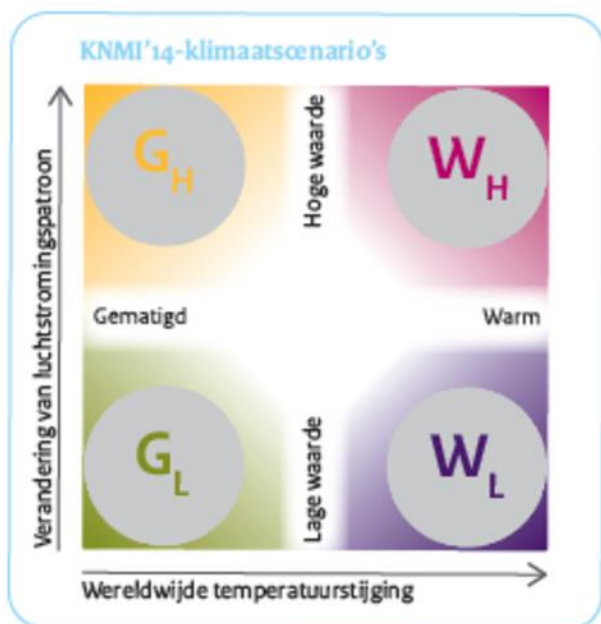
In deze rapportage gaan we in op de resultaten van de analysefase van het project 'GMR 2120'. In hoofdstuk 2 beschrijven we allereerst de resultaten van de literatuurstudie naar thematische trends en prognoses, vervolgens worden de resultaten van de gebiedsanalyse en SWOT in hoofdstuk 3 beschreven. Tot slot behandelen we in hoofdstuk 4 hoe de resultaten van de analysefase doorvertaald kunnen worden naar de ontwerpfase.

2 Resultaten literatuurstudie: trends en prognoses

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de literatuurstudie die is uitgevoerd naar toekomstige ontwikkelingen per thema. Er is hierbij gekeken naar diverse thema's, te weten klimaatverandering, rivierregime, wonen, economie, mobiliteit, landbouw, natuur en energie. Het is belangrijk te realiseren dat de literatuur niet of nauwelijks inzicht geeft in toekomstige verwachtingen op de termijn van 100 jaar, klimaatprojecties uitgezonderd. Desalniettemin geeft deze studie inzicht in trends en prognoses en welke richting verschillende factoren kunnen geven aan de toekomst.

2.1 Klimaatverandering

Op hoofdlijnen betekent klimaatverandering voor Nederland een sneller stijgende zeespiegel, hogere temperaturen met vaker zachtere winters en hete zomers, nattere winters, heftigere buien en een grotere kans op droogte in het voorjaar en de zomer (Klein Tank et al., 2015; KNMI, 2021). Niet alleen het gemiddelde klimaat in Nederland verandert dus als gevolg van klimaatverandering, maar ook de kans op extreem weer neemt toe. De bandbreedte van het spectrum waarbinnen deze veranderingen waarschijnlijk zullen plaatsvinden, is beschreven in de KNMI'14-klimaatsscenario's (Klein Tank, et al. 2015).¹ Deze klimaatsscenario's zijn de recentste vertaling van de mondiale klimaatsscenario's van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) en beschrijven vier mogelijke toekomstbeelden van het Nederlandse klimaat in 2050 en 2085, op basis van de mate van wereldwijde temperatuurstijging en veranderingen van het luchtstromingspatroon (zie figuur 4). De nieuwste inzichten over klimaatverandering, op basis van onder meer het laatste IPCC-rapport (augustus 2021), maken duidelijk dat het klimaat sneller verandert dan eerder gedacht (Masson-Delmotte et al., 2021; KNMI, 2021).



Figuur 4 Uitgangspunten van de KNMI'14 klimaatsscenario's (KNMI, 2015).

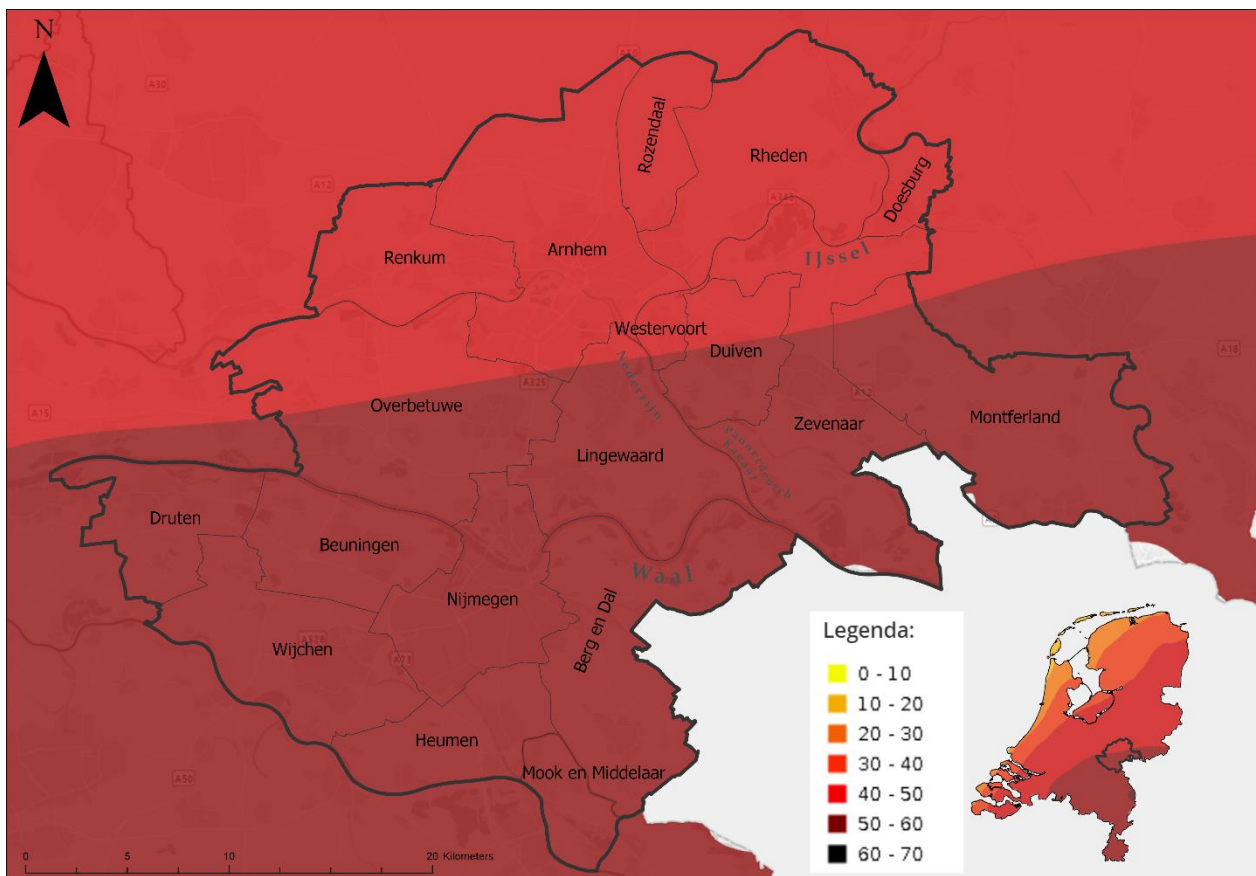
¹ De KNMI'14-klimaatsscenario's zijn de recentste scenario's ten aanzien van verwachte klimaatverandering in Nederland. Geactualiseerde KNMI-scenario's worden verwacht in 2023, maar deze waren nog niet beschikbaar ten tijde van deze studie. Daardoor is ook de literatuur over rivierregime – die zich baseert op de scenario's van het KNMI – gebaseerd op de KNMI'14-klimaatsscenario's.

De zeespiegel stijgt

Volgens de KNMI'14-scenario's zal de zeespiegel aan de Nederlandse kust in 2085 tussen de 25 en 80 cm zijn gestegen (Klein Tank et al., 2015). De nieuwe IPCC-scenario's laten zien dat de zeespiegel sneller stijgt. Dit betekent dat in 2100 de zeespiegelstijging voor de Nederlandse kust 120 cm kan bedragen, terwijl de warme KNMI'14-scenario's voor 2100 nog een maximum van 100 cm schetsen (KNMI, 2021). Recent onderzoek, complementair aan de IPCC-scenario's, laat als bovengrens van zeespiegelstijging in 2100 een verwachting van 130-160 cm zien, uitgaand van een temperatuurstijging van 5 graden (Wal et al., 2022). De stabiliteit van de Antarctische ijskap is een proces waar nog weinig zekerheid over is; als delen van deze ijskap instabiel worden kan de zeespiegelstijging in 2100 zelfs 2 m bedragen (Haasnoot en Diermanse, 2022; KNMI, 2021).

Het wordt warmer

Alle vier de KNMI-scenario's laten een stijging van de gemiddelde jaartemperatuur zien in Nederland, variërend van +1.3°C in 2085 in scenario G_L tot +3.7°C in W_H. De opwarming is relatief het grootst voor de koude winterdagen en de warmste zomerdagen, waarbij de gemiddelde toename voor de warmste zomerdag in 2085 in het W_H-scenario +4,9 °C kan bedragen. De scenario's tonen een grotere temperatuurstijging in het zuidoosten ten opzichte van het noordwesten van het land (figuur 5); in het W_H-scenario is dit verschil in toename 1°C (Klein Tank et al., 2015). De toenemende zomerse warmte is met name voor stedelijk gebied een grote uitdaging, aangezien het in de stad het gehele jaar door warmer is dan in de omgeving daaromheen (KNMI, 2021). Dit stedelijk hitte-eiland-effect betekent dat met name 's avonds en 's nachts de luchttemperatuur in de stad enkele graden hoger is dan in de omgeving; in het geval van de GMR zijn dit nu al verschillen van +2.4°C.

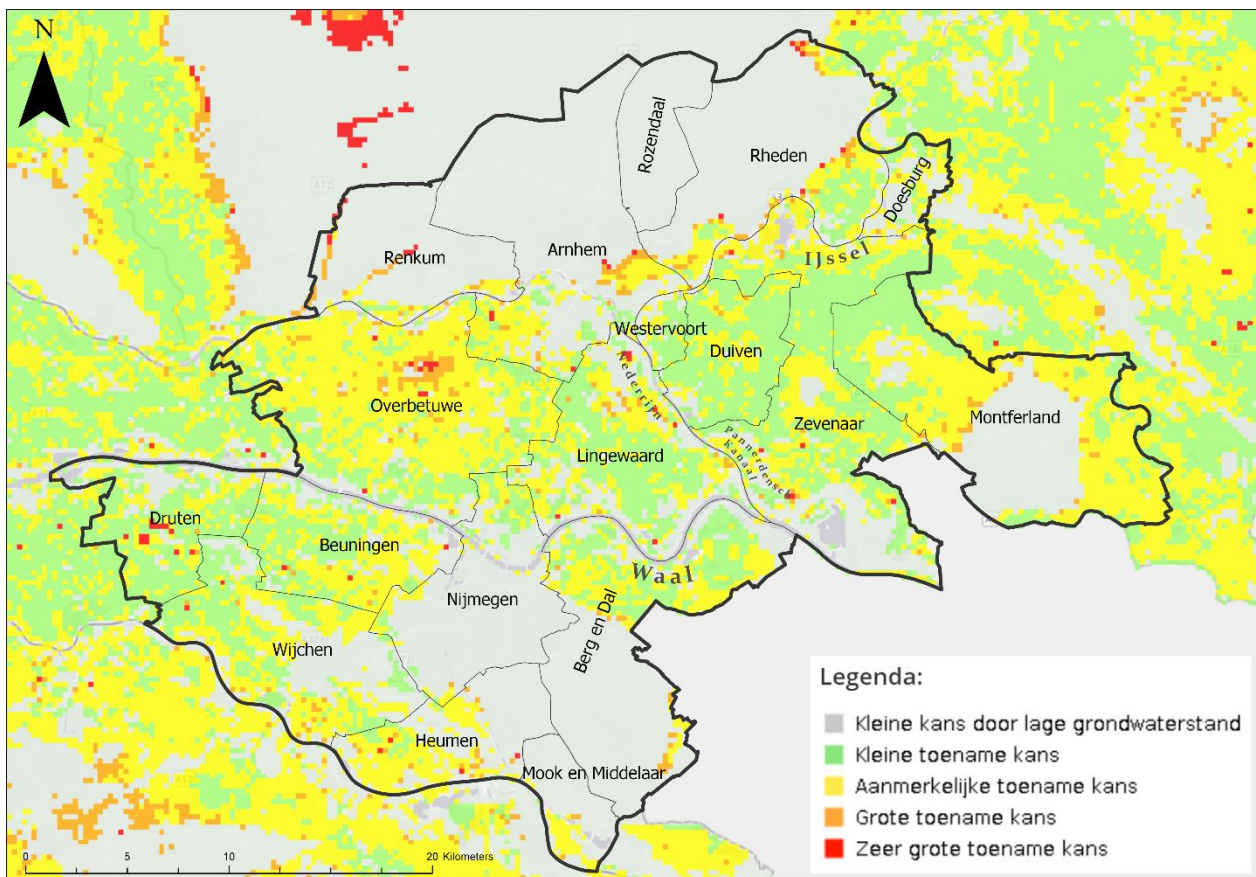


Figuur 5 Landelijke verschillen in temperatuur-toename geïllustreerd aan de hand van aantal zomerse dagen (max ≥ 25 °C) in 2050, W_H-scenario (klimaat-effectatlas, n.d.).

Meer en meer extremen in neerslag

De verwachting is dat de hoeveelheid jaarlijkse neerslag zal toenemen, met 5 à 7% in 2085 (Klein Tank et al., 2015). Deze toename is toe te schrijven aan een grotere kans op vaker en heviger regen, met een verwachte toename aan neerslag in alle seizoenen. Uitzondering is de zomer; daar is alleen voor het G_L een kleine toename van neerslag voorzien in 2085, de andere scenario's tonen een aanzienlijke afname (KNMI, 2015). In de zomer kunnen in de toekomst wel meer extreme buien voorkomen en de extreemste buien kunnen samengaan met valwinden, al is nog veel onzeker qua mogelijke veranderingen aan neerslagextremen (KNMI, 2021).

De verwachte toename aan neerslag vertaalt zich door naar potentiële veranderingen in het grondwatersysteem. Zo laten modellen voor het W_H-2050 scenario voor delen van de komgronden en de drie stuwwallen in de GMR een stijging in de gemiddeld hoogste grondwaterstand zien, waarbij de stijging voor de stuwwal van de Veluwe meer dan 1 m zou kunnen bedragen. Momenteel zijn de metingen van het grondwatersysteem van de Veluwe niet in lijn met deze modelmatige verwachtingen. Ook zou het W_H-2050-scenario een toename in kwel betekenen aan vooral de flanken van de stuwwallen, met name de zuidkant van de Veluwe en zuidoost van de stuwwal bij Nijmegen, en in de komgronden. Hier is dan ook een aanmerkelijke tot lokaal (zeer) grote kans dat grondwateroverlast toeneemt (figuur 6) (Klimaat-effectatlas, n.d.).



Figuur 6 Ontwikkeling kans op grondwateroverlast in 2050, op basis van het W_H-scenario (klimaat-effectatlas, n.d.).

De kans op droogte neemt toe

In hoeverre de kans op droogte in de toekomst gaat veranderen is nog onzeker, met name doordat er onzekerheid is over de verandering in hoeveelheid zomerneerslag. Neerslag en potentiële verdamping worden in sterke mate bepaald door grootschalige luchtstromingen (KNMI, 2021). De verwachtingen ten aanzien van zomerneerslag variëren dan ook op basis van de veranderingen in luchtstromingspatronen: van 1% toename aan gemiddelde hoeveelheid zomerneerslag in scenario G_L tot een afname van 23% in 2085 voor scenario W_H (Klein Tank et al., 2015). Voor droogte is het bovendien van belang dat een toename aan

potentiële verdamping wordt voorzien, hoofdzakelijk veroorzaakt door hogere temperaturen (KNMI, 2021). De verwachting is daardoor dat onder invloed van klimaatverandering drogere periodes in het voorjaar en de zomer zullen toenemen en dat hierbij regionale verschillen zullen optreden. Nu al is een trend zichtbaar van toenemende droogte in het binnenland door klimaatverandering. Dit komt zowel door een toename van zomerneerslag in het kustgebied (terwijl de neerslag in het binnenland constant blijft) als door een toename van zonnestraling en daarmee potentiële verdamping in het binnenland (KNMI 2021; Philip et al., 2020). Watertekorten kunnen onder meer leiden tot oogstschades in de landbouw en schades aan natuur en stedelijk groen en als gevolg van lage waterstanden in de rivier kunnen onder meer problemen ontstaan bij de binnenvaart (Klimaatadaptatienederland, n.d.).

2.2 Rivierregime

Grilligere afvoerregimes van Maas en Rijn

Door klimaatverandering zullen de afvoerregimes van Rijn en Maas door het jaar heen grilliger worden. Zowel de kansen op hoog als laag water zullen toenemen, enkel al op grond van verwachte veranderingen in neerslag in het Rijn-Maas- stroomgebieden – daar komen veranderingen in andere meteorologische variabelen zoals verdamping nog bij (KNMI, 2021). Het verschil tussen de winter- en zomerafvoer wordt naar verwachting vooral voor de Maas veel groter, doordat dit een regenrivier is (Klijn et al., 2015; WSP et al., 2021). Door de verwachte toenames aan neerslag laat het W_H -scenario voor de Maas een toename van de gemiddelde winter- en voorjaarsafvoer zien van bijna 25% in 2085. In de nazomer en herfst kan de lage afvoer van de Maas in 2085 tot 60% afnemen (Klijn et al., 2015).

De Rijn kent door het jaar een stabiel afvoerpatroon, doordat de rivier zowel smelt- als regenwater afvoert en gevoed wordt door een groot stroomgebied, met daarin grote meren die een dempende werking hebben op het afvoerregime. De jaargemiddelde afvoer voor de Rijn zal naar verwachting niet sterk veranderen, maar het seizoensverloop wel: in de W -scenario's voor 2085 worden bijna 40% hogere gemiddelde maandafvoeren in de winter en tot 30% laagwaterafvoeren in de nazomer verwacht (Klijn et al., 2015). In het geval van de Maas is de, nu maatgevende, 1:1250 afvoer bij Borgharen nu 3900 m³/s; deze is naar verwachting in het W_H -scenario 4750 m³/s (Klijn et al., 2015).

Hoogwaterafvoer bij Lobith

Kijkend naar hoogwaterafvoeren – op basis van de grootste 10-daagse neerslaghoeveelheid in het winterhalfjaar –, dan is daar voor de Rijn een flinke toename van te verwachten in de toekomst. Een Rijnafvoer overeenkomstig de hoogwatersituaties in 1993 en 1995, ruim 12.000 m³/s, komt in sommige 2085-scenario's vaker dan eens per 10 jaar voor, terwijl dit nu gemiddeld eens per 100 jaar is. De nu maatgevende afvoer van 16.000m³/s, met een berekende kans van voorkomen kleiner dan 1:30.000 jaar, gaat in sommige 2085-scenario's naar een kans van 1:500 jaar (Klijn et al., 2015).

Aanvankelijk is op basis van de KNMI'14-scenario's berekend dat de maximale afvoeren, met een terugkeertijd van 10.000 jaar, bij Lobith tot maximaal 18.000 m³/s kunnen toenemen als er rekening wordt gehouden met (grootschalige) overstromingen in Duitsland bij extreme afvoer (Hegnauer et al., 2015). Bij nog hogere afvoeren is er naar verwachting sprake van dijkdoorbraken in de laatste 20km-loop van de Rijn voor de Nederlandse grens, met grensoverschrijdende overstromingen tot gevolg (Klijn et al., 2015; Hegnauer et al., 2015). Een dergelijke maximale afvoer bij Lobith zou resulteren in maximale afvoeren van 11.775 m³/s voor de Waal, 3.376 m³/s voor de Nederrijn en 2.850 m³/s voor de IJssel (Spruyt & Asselman, 2017). Recent onderzoek laat echter zien dat al bij rivierafvoeren van 16.000m³/s een grote kans is op dijkdoorbraken in Duitsland, met overstromingen tot in Nederland als gevolg (zie figuur 7). Overstromingen via het Oude IJsseldal kunnen zelfs al bij een debiet van 14,500 m³/s voorkomen als de dijken in Duitsland doorbreken door golfoverslag (Bomers, 2019).

Bovenstrooms en benedenstrooms waterbeheer

Voor het toekomstig rivierregime van Rijn en Maas is niet alleen klimaatverandering een bepalende en onzekere factor, dit geldt ook voor strategische keuzes in waterbeheer boven- en benedenstrooms van de GMR. Hierboven is al geschetst dat overstromingsrisico's via het Oude IJsseldal samenhangen met waterbeheer in Duitsland. Echter, bovenstrooms beheer is ook een relevante factor met het oog op extreem

laag water en het afvoerpatroon van de rivieren. Zo kunnen grootschalige ingrepen ten behoeve van het langer vasthouden van water bovenstrooms ertoe leiden dat er lagere afvoeren ons land binnenkomen of dat piekafvoeren verder worden afgevlakt.

Daarnaast is het voor de lange termijn ook van belang welke beheerkeuzes er gemaakt zullen worden benedenstrooms, gegeven de toekomstige zeespiegelstijging. Er zijn verschillende oplossingsrichtingen mogelijk, waarbij een van de te maken strategische keuzes is of de riviermondingen (Rijnmond, Oosterschelde) bij extreme zeespiegelstijging 'afsluitbaar open' blijven of afgesloten worden. Wanneer deze mondingen afgesloten worden, zullen de rivierafvoeren grotendeels naar zee gepompt moeten worden (Haasnoot et al., 2019). Wanneer rivieren in open verbinding blijven met zee, zal er sprake zijn van een afname in het verhang van de rivieren en opstuwung van water onder invloed van de stijgende zeespiegel; hierdoor kan zeespiegelstijging landinwaarts doorwerken tot over grote afstanden (Kleinhans et al., 2013; Schra et al., 2022). In het geval van een hoge rivierafvoer bij een zeespiegelstijging van 2 m betekent dit bij Lobith een waterstandverhoging van ca. 0.8m. Zeespiegelstijging van 5 m kan door opstuwung in de Waal bovendien effect hebben op de debietverdeling in het splitsingspuntengebied: het gebied in het hart van de GMR waar de Rijn zich splitst in Waal, Neder-Rijn en IJssel. De combinatie van lage rivierafvoeren en zeespiegelstijging zorgen voor de indringing van zoutwater vanuit zee; deze effecten reiken echter minder verder landinwaarts (Schra et al., 2022).

Tot slot heeft zeespiegelstijging niet alleen een effect op de waterstanden, maar kan ook morfologische effecten hebben. Bij een gestegen zeespiegel neemt het rivierverhang af en kan de zogenoemde *apex*² van de delta verschuiven (Kleinhans et al., 2013). De keuzes ten aanzien van adaptatiestrategieën voor zeespiegelstijging zullen dus niet alleen doorwerken in rivierafvoeren, maar ook in sedimentatieprocessen stroomopwaarts. Hetzelfde geldt voor keuzes ten aanzien van het IJsselmeerpeil (Schra et al., 2022). Deze veranderingen in afvoerpatronen en sedimentatieprocessen zullen ook gevolgen hebben voor de ecologie van de rivieren (zie par. 2.1.2).

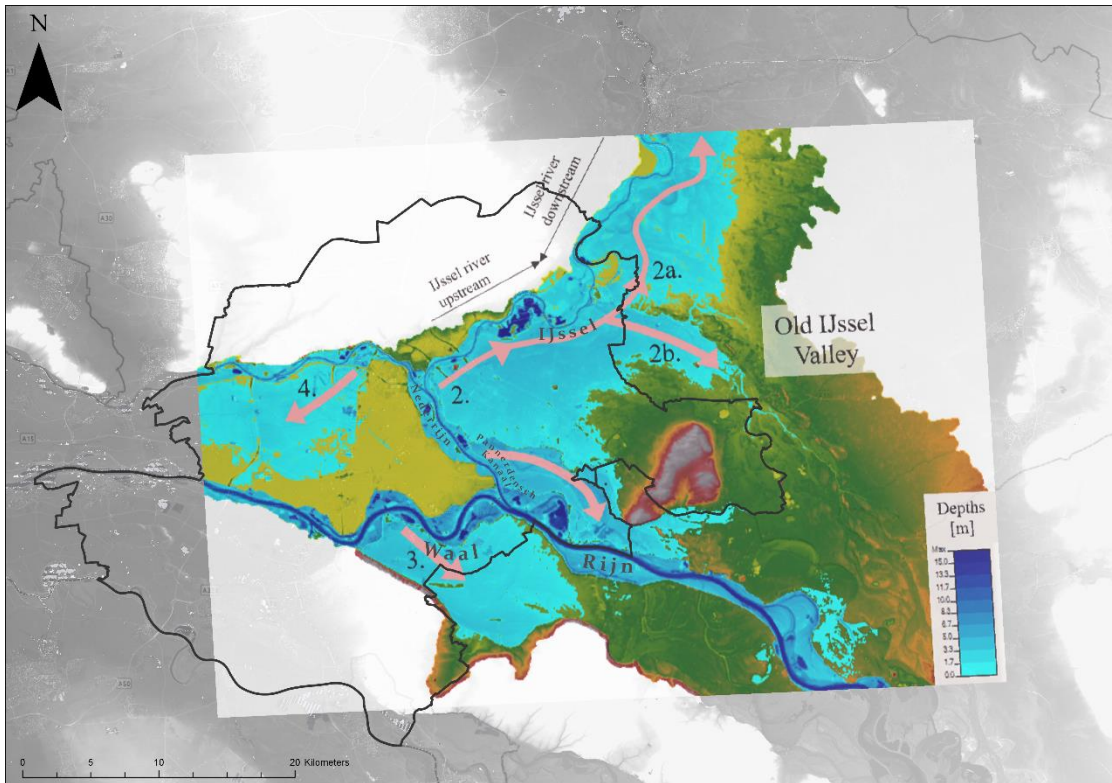
2.3 Natuur

Biodiversiteitsverlies en effecten van klimaatverandering

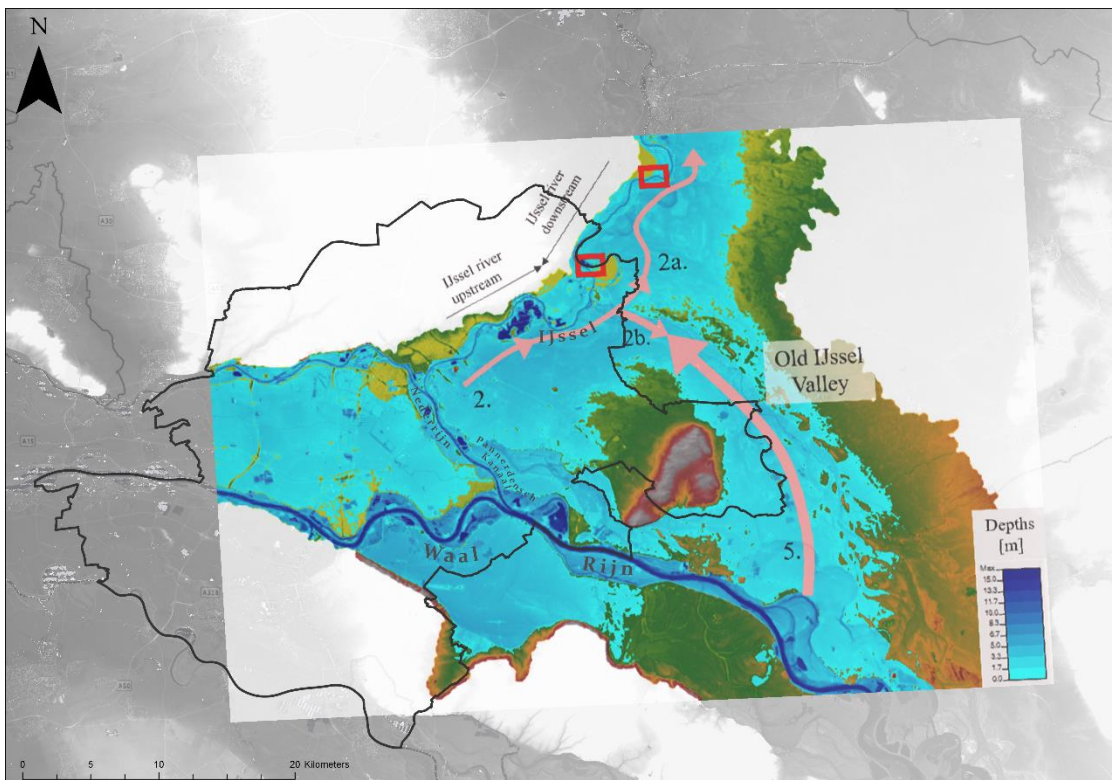
Biodiversiteit kent wereldwijd een snelle achteruitgang en deze afname zal in de toekomst verder doorzetten wanneer er geen actie wordt ondernomen om verdergaande klimaatverandering en degradatie en verlies van leefgebieden te voorkomen (Brondízio et al., 2019; Leclere et al., 2020). De effecten van klimaatverandering op de natuur kunnen grootschalig zijn en omvatten onder andere het opschuiven van klimaatzones, verschuivingen in de natuurkalender en een verlenging van het groeiseizoen.

De opschuiving van klimaatzones kan leiden tot een geleidelijke verandering van soortensamenstelling, waaronder een toename van exotische flora en fauna en het uitsterven van (inheemse) soorten die 'die opschuiving niet kunnen bijbenen' (Cormont et al., 2022; Rijkswaterstaat, 2020). Ook kan het veranderende klimaat tot verdere verdroging van de natuur leiden, hetgeen momenteel al een probleem is. Op de hoge zandgronden staan nagenoeg alle natte en grondwaterafhankelijke natuurtypen onder druk en deze problematiek neemt naar verwachting verder toe wegens langere periodes van droogte door toekomstige klimaatverandering. Adaptatie is in deze gebieden dan ook urgent (Hamers et al., 2021). Er is een structurele verandering nodig om verdroging te verminderen; dit betekent op de zandgronden onder meer "het vergroten van de grondwatervoorraden, het vasthouden en infiltreren van regenwater, het omvormen van de bossamenstelling om de verdamping te verkleinen en het instellen van bufferzones tussen natuur- en landbouwgebieden" (Hamers et al., 2021).

² De *apex* is het punt waar een rivier verandert van sediment doorvoerend en exporterend naar daar waar de overstromingsvlakte begint en sedimentatie de overhand heeft (Kleinhans et al., 2013).



7A Bij afvoeren tot $16.000\text{m}^3/\text{s}$ is met name het Pannerdensch kanaal kwetsbaar voor dijkdoorbraken, met waterstromen 1 en 2 over land tot gevolg; een deel daarvan (2b) stroomt de oude IJsselvallei in.



7B Bij afvoeren $>16.000\text{m}^3/\text{s}$ komen dijkdoorbraken vaker voor, met een waterstroming van de oude IJsselvallei (5) tot gevolg. Deze waterstroom bereikt bij de rode boxen de IJsselvallei, na de piekafvoer die daar doorheen stroomt. Dit heeft grotere afvoeren benedenstrooms tot gevolg. De stroom over land kan significant groter zijn dan de afvoer die de IJssel via het riviersysteem bereikt (bomers, 2019).

Figuur 7 Gemodelleerde overstromingsdieptes en richting (genummerde roze peilen) bij een rijndebiet van A. minder en B. meer dan $16.000\text{ m}^3/\text{s}$ (op basis van Bomers, 2019).

Ecologie van rivieren

Wat betreft de ecologie van rivieren brengt klimaatverandering verschillende drukfactoren met zich mee, die op termijn een zeer grote impact zouden kunnen hebben (Ebbens et al., 2021). Met name een toenemende watertemperatuur en veranderende patronen in rivierafvoer zullen van invloed zijn op de toekomstige levensgemeenschappen in rivieren. Zo zullen soorten verdwijnen die zich niet kunnen handhaven bij hogere temperaturen en kan de opwarming van winters de paai van vissen vervroegen, hetgeen problemen kan opleveren als bij het uitkomen van de eieren het voedsel voor vislarven nog niet beschikbaar is (Noordhuis et al., 2019b). De veranderingen in afvoerpatronen van rivieren kunnen van invloed zijn op erosie en sedimentatiepatronen, stroomsnelheden, fluctuaties in rivierpeilen en op concentraties van nutriënten en toxische stoffen in het water. Deze factoren beïnvloeden op hun beurt de ecologie (Noordhuis et al., 2019). Deze effecten komen boven op de al nadelige effecten voor natuur en biodiversiteit die de rivieren momenteel ondervinden door de aanleg van kribben en stuwen. Door de verstoring van de sedimentbalans in Rijn en Maas treedt er nauwelijks sedimentatie meer op, maar vooral uitschuring en insnijding van de rivierbodem (Noordhuis et al., 2019; WSP et al., 2021). Dit is zeker in de GMR een punt van aandacht, aangezien deze bodemerrosie het grootst is rondom het splitsingspuntengebied, met name omvangrijke rivierbodemdaling in het traject van de Waalbochten (WSP et al., 2021).

Met het oog op 2100 is het rivierengebied specifiek kwetsbaar voor de gevolgen van hoge zomertemperatuur bij lagere zomerdebieten (Noordhuis et al., 2019); met name in gestuwde rivierdelen kan de stroming nagenoeg stil komen te vallen tijdens lage afvoeren. Naast de effecten op stroom-minnende soorten, kan dit ook – door een hogere watertemperatuur – zuurstoftekort en hogere nutriëntenconcentraties tot gevolg hebben, met tijdelijke algenbloei en sterfte van vis en bodemfauna tot gevolg. Ook kunnen lage rivierpeilen grote effecten hebben op grondwaterstroming. De precieze effecten op de kwelintensiteit (te verwachten langs de Neder-Rijn en IJssel) en welke soorten hierdoor verdwijnen of verschijnen, zijn nog moeilijk te voorspellen (Noordhuis et al., 2019).

Klimaatrobuuste natuur

Om beter bestand te zijn tegen weersextremen en het risico van klimaateffecten te spreiden, is het van belang om gradiënten en heterogeniteit in leefgebieden te realiseren. Gradiënten en heterogeniteit kunnen goed bevorderd worden op de al bestaande overgangen van natte naar droge gebieden, in gebieden met veel hoogteverschillen en in gebieden met verschillende bodemtypen. Door de aanwezigheid van variatie zijn gebieden met gradiënten niet alleen veerkrachtig ten aanzien van klimaatextremen, maar ook een leefgebied voor veel soorten flora en fauna en daarmee van belang voor biodiversiteit. Binnen de GMR bevinden zich vanuit deze optiek verschillende gebieden voor die kansrijk/waardevol zijn, onder meer aan de flanken van de dekzanden en stuwwallen (Heumen-Wijchen, Bergharen; omgeving Didam; ten noorden van Rheden; omgeving Beek-Ubbergen) (Cormont et al., 2022).

Naast klimaatverandering is het Nederlandse en internationale beleid een van de belangrijkste factoren voor de toekomstige ontwikkeling van biodiversiteit in Nederland (Rijkswaterstaat, 2020). Voor de grote wateren in Nederland zijn natuurambities geformuleerd (Ministerie van Economische Zaken, 2013), die in de Programmatische Aanpak Grote Wateren (Heusden et al., 2021) verder zijn uitgewerkt. Het programma betreft het ontwikkelen van aaneengesloten natuur van onder meer oobossen, moerassen en overstromingsvlakten in de periode tot 2050. Daarbij is 'Gelderse Poort' als *hotspot* van grootschalige natuurwaarden geformuleerd, met een gewenste toename van 7400 ha robuuste riviernatuur in het gebied waar de Rijn binnenkomt – grofweg vanaf de Duitse grens tot Driel, Rijnstrangen, de Waal voorbij Nijmegen en de zuidelijke IJssel tot Dieren (Heusden et al., 2021). Het programma beoogt op Nederlandse schaal een robuust riviersysteem te vormen van hotspots en corridors dat de basis vormt voor duurzame populaties. Een dergelijk robuust en veerkrachtig riviersysteem met hoge biodiversiteit vereist de aanwezigheid van natuurlijke (hydromorfologische) rivierdynamiek (Heusden et al., 2021; van der Sluis et al., 2020). Om deze dynamiek en daarmee de beoogde natuurkwaliteit van de rivieren te kunnen realiseren, zijn andere keuzes ten aanzien van de zoetwatervoorziening en natuurvriendelijker stuwbeheer en scheepvaart een vereiste (Van der Sluis et al., 2020).

2.4 Landbouw

Klimaatverandering: extreme weersomstandigheden en ziekte en plagen

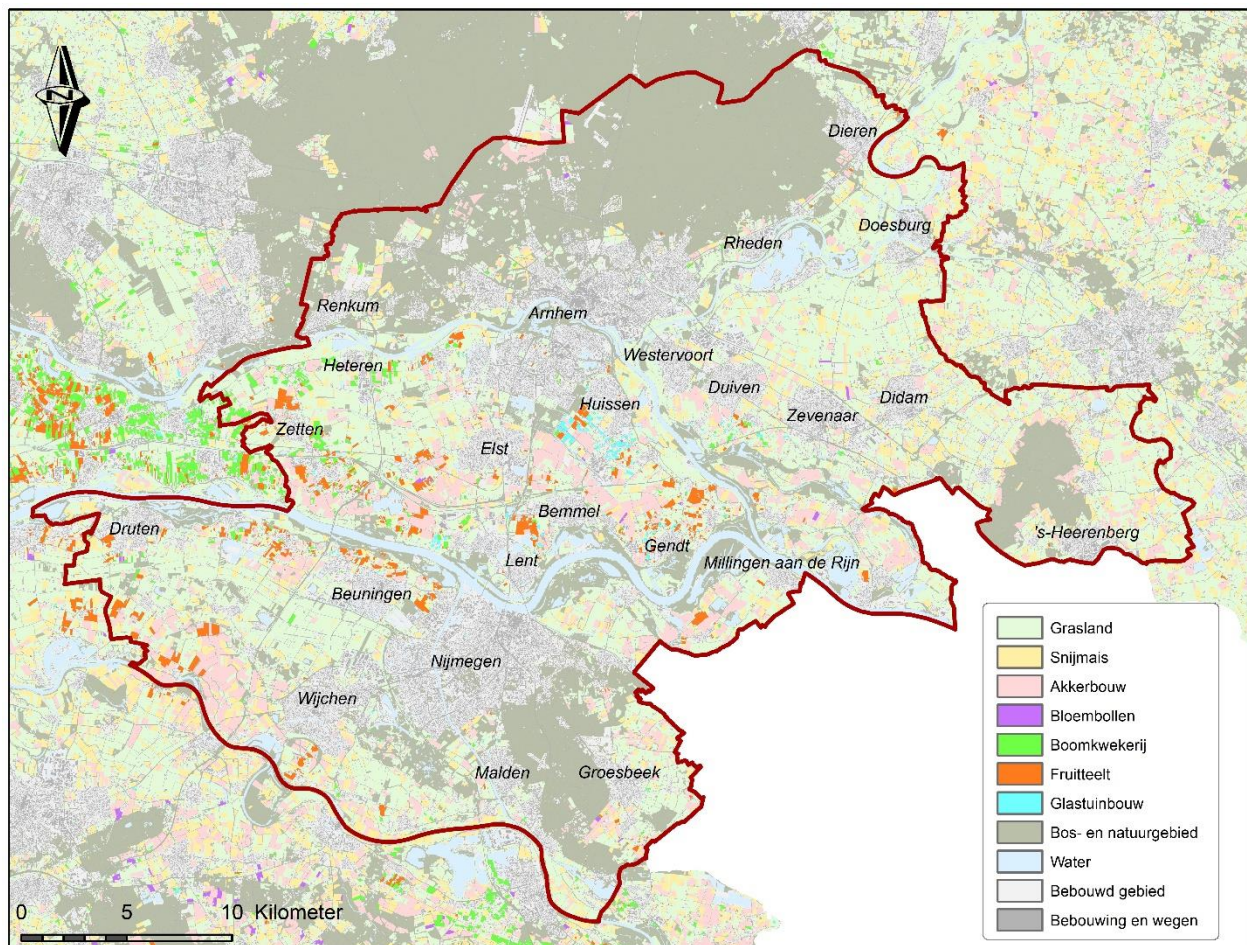
Door klimaatverandering zal de landbouw in de toekomst moeten inspelen op andere omstandigheden, zoals een warmer klimaat, grotere extremen in waterbeschikbaarheid en veranderingen in soortensamenstelling. Een groot deel van het landoppervlak in de GMR is momenteel in gebruik door de landbouw (figuur 8), waarbij 44% van het landbouwareaal in gebruik is door de melkveehouderij, 26% door andere vormen van veehouderij, 26% door de akkerbouw, 4% door de vollegrondstuinbouw (waaronder fruit- en bometeelt) en 1% door de glastuinbouw (Wageningen Environmental Research, 2022). Door klimaatverandering is de noodzaak voor robuuste landbouw van groot belang voor de toekomst. Akkerbouwgewassen die laat in het seizoen geoogst worden, kunnen problemen met natte omstandigheden gaan ervaren, waardoor de oogst moeilijker wordt en er rot in gewassen kan optreden. Droogtes vergroten bovendien de noodzaak en daarmee kosten voor beregening in de open teelten (Kranendonk et al., 2022). Voerkosten voor veehouders kunnen toenemen, omdat veevoergewassen een lagere opbrengst hebben door bijvoorbeeld droogtes. In de (intensieve) veehouderij kunnen dieren last krijgen van hittestress, waardoor dieren kwetsbaarder worden voor ziektes en bijvoorbeeld minder melk gaan produceren. Daarnaast is fruitteelt kwetsbaar voor extreme omstandigheden in de zomer, zoals hitte en watertekorten. Door de algemeen hogere temperaturen zullen fruitbomen eerder gaan bloeien in het voorjaar, waardoor ze kwetsbaarder worden voor nachtvorst. Het kapotvriezen van bloesem kan de opbrengst flink verminderen. Hittegolven vergroten de behoefte aan koeling in de glastuinbouw, waardoor het energieverbruik – en daarmee kosten – toeneemt. Tevens kunnen zware hagelbuien schade aan kassen veroorzaken (Kranendonk et al., 2022). Klimaatverandering leidt tevens tot de intrede van nieuwe ziekten en plagen en voor een grotere omvang van bestaande ziekten en plagen, door hogere temperaturen en vochtige omstandigheden (Van Dijk et al., 2022). Met name in de fruitteelt kan dit problemen gaan veroorzaken. Daarnaast is de beschikbaarheid van chemische gewasbeschermingsmiddelen in de toekomst zeer beperkt en zullen milieuvriendelijke manieren van plaagbestrijding de norm zijn (Europese Commissie, n.d.).

Toekomstige landbouwsystemen

Natuurinclusieve en ecologische principes hebben de potentie om de norm van toekomstige vormen van landbouw te worden met het oog op klimaatverandering en biodiversiteit (Mommer et al., 2022).³ Klimaatadaptieve vormen van landbouw kunnen bijvoorbeeld bestaan uit hoog diverse systemen. Deze systemen zijn gebaseerd op een mix aan gewassen en veranderen door de tijd heen, omdat boeren mee blijven bewegen met het veranderende klimaat. Een uitgebreide mix van gewassen maakt boerenbedrijven minder kwetsbaar voor klimaatverandering doordat gewassen verschillende kwetsbaarheden voor weersextremen – zoals droogte, hitte en extreme neerslag – en ziekten en plagen hebben (Van Dijk et al., 2020, Verstand et al., 2020). Diverse systemen, zoals *agroforestry* en strokenteelt, lijken hiervoor potentie te hebben omdat er tevens andere positieve effecten kunnen optreden. Zo vindt er natuurlijke plaagbestrijding plaats (Juventia et al., 2021) en worden windsnelheden gereduceerd door heggen of bomen waardoor de verdamping in droge perioden afneemt (WUR, 2021b). Voor een goede balans tussen robuustheid en efficiëntie worden deze systemen ondersteund door technologische hoogstandjes, zoals robots voor gewasverzorging en de oogst, maar ook sensoren voor het monitoren van vocht en het voorkomen van ziekten en plagen (WUR, n.d.). Voor toekomstige landbouwsystemen is het bovendien van belang dat waterbeschikbaarheid en bodemeigenschappen bepalend zijn voor de teelten die op een bepaalde locatie verbouwd worden (WUR, 2021a; Deltares, BoschSlabbers & Sweco, 2021; Hamers et al., 2021). Zo zijn de hoge zandgronden zonder externe wateraanvoer in het toekomstige klimaat geschikt voor droogteresistente rassen en gewassen als sorghum (Verstand et al., 2022), terwijl er in natte gebieden gewassen groeien die goed tegen natte voeten kunnen, waaronder teelten als lisdodde (Bestman et al., 2019). Voor kwetsbare teelten, zoals fruitbomen en aardbeien, is het waarschijnlijk dat deze in de toekomst onder controleerbare omstandigheden worden geteeld, zoals in kassen. Op deze manier kunnen de gewassen beschermd worden tegen weersinvloeden en zijn ziekten en plagen beter in toom te houden (WUR, 2019). Dicht bij kwetsbare natuurgebieden en rondom steden zal de landbouw in de toekomst, naast voedselproductie, waarschijnlijk ook andere diensten vervullen (Hamers et al., 2021). Hierbij kan gedacht worden aan diensten zoals het opvangen en vasthouden van water tijdens hevige neerslag of

³ Het is onzeker of de landbouw zich inderdaad in deze richting zal gaan ontwikkelen. Er zijn ook ontwikkelingen gaande in de richting van schaalvergroting en verdere specialisatie.

overstromingen, recreatiemogelijkheden en verbindingzones voor biodiversiteit. Dit multifunctionele ruimtegebruik maakt, net als koolstofvastlegging, dan ook deel uit van het verdienmodel van de boer.



Figuur 8 Bodemgebruik in de GMR (Wageningen Environmental Research, 2021).

Circulariteit

In het kader van circulariteit liggen er verschillende kansen voor toekomstige landbouw. Een mogelijk toekomstbeeld is dat het grootste deel van de voedselproductie en -consumptie plantaardig is, waardoor landgebruik efficiënt is en de uitstoot van broeikasgassen en stikstof minimaal. Op boerderijen zijn beperkte aantallen dieren aanwezig die de restproducten van de boerderij opwaarderen tot dierlijke producten (WUR, 2021b). Deze producten worden ook lokaal geconsumeerd, zodat de nutriënten uit afval weer gemakkelijk terug te brengen zijn naar de akkers (De Wolf et al., 2019). Ook is het kansrijk om in de landbouw reststromen en afval als nutriënten te benutten. Deze reststromen komen bijvoorbeeld uit het humane afval uit stedelijk gebied, waar het verzameld kan worden en lokaal kan worden herverdeeld (Harder et al., 2020).

In de toekomst heeft de landbouw in Nederland bovendien een belangrijke rol te vervullen in het leveren van bouwgrondstoffen en bouwmaterialen. Aanzienlijke opschaling in de productie van bio-based materialen is noodzakelijk om de potentie van deze materialen in de Nederlandse woning- en utiliteitsbouw en grond-, weg- en waterbouw te benutten (NIBE, 2019). Houtbouw is van specifieke interesse, omdat hout en houtproducten grote toepassingsmogelijkheden kennen. Een daarvan is *cross laminated timber* ('CLT' ofwel kruislaaghout), hetgeen naar verwachting een belangrijke vervanging van beton zal worden, aangezien deze verlijmdde platen lichtgewicht zijn en geschikt voor dragende constructies (Van Dam en Van den Oever, 2019). Deze platen worden op basis van snelgroeiend hout geproduceerd: enerzijds liggen er daarom kansen voor duurzame bosbouw in bestaand (naald)bos, anderzijds liggen er kansen voor nieuwe, productieve ooi- en broekbossen met soorten zoals populieren en wilgen (Vermeulen et al., 2019). Daarnaast liggen er met name voor diverse gewassen kansrijke toepassingen als bouw materiaal. Vezelgrondstoffen zoals stro, vlas,

hennep en olifantsgras kennen diverse toepassingsmogelijkheden, waaronder als vezelplaten en isolatiemateriaal. Ook lisdodde, kroos en mycelium (netwerk van draden van schimmel) kunnen worden toegepast als isolatiemateriaal. Verder zijn er ontwikkelingen ten aanzien van het vervangen van chemische bouwstoffen, synthetische lijmen en binders – bijvoorbeeld door alternatieven op basis van hars, zetmeel uit aardappel, tarwe of mais, of plantaardige oliën (waaronder zonnebloem, lijnolie en walnootolie) (Van Dam en Van den Oever, 2019).

2.5 Wonen

Bevolkingsgrootte en samenstelling

Voorspellingen ten aanzien van bevolkingsgroei op de lange termijn lopen behoorlijk uiteen (Manders & Kool, 2015; Wolters et al., 2018; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020; Vollset, 2020). De ontwikkeling van de bevolkingsgrootte en samenstelling op lange termijn is lastig te voorspellen, doordat dit samenhangt met zowel verwachtingen ten aanzien van sterfte, geboorte als migratie. Volgens Vollset et al. (2020) zal de Nederlandse bevolking de komende decennia afnemen tot 13,58 miljoen inwoners in 2100, terwijl het CBS voor de komende 50 jaar nog uitgaat van groei – resulterend in een prognose van 20,4 miljoen inwoners in 2070 (Stoeldraijer et al., 2020).

Ten aanzien van ontwikkelingen in sterfte is enerzijds de toenemende levensverwachting op de lange termijn van invloed (CBS, 2020), anderzijds de bevolkingsopbouw. Wat betreft de bevolkingsopbouw is in de komende decennia sprake van vergrijzing, met een kwart van de Nederlanders 65+ in 2050 (Manders & Kool, 2015; PBL, 2019). Hierbij is het van belang dat naoorlogse babyboomers (geboren tussen 1946 en 1970) nu een groot deel van de bevolking uitmaken (CBS, 2022a). Deze gehele groep is 65+ in 2035; de verwachting is dat in dat jaar de gemiddelde levensverwachting op 65-jarige leeftijd 21,85 jaar zal zijn (95% prognose interval 20,63-23,07jr) (CBS, 2021a). De verwachting is dan ook dat door het toenemende aandeel ouderen tot 2055 het aantal overledenen jaarlijks toeneemt, daarna neemt dit aandeel naar verwachting weer af. Dit zou tot gevolg kunnen hebben dat na 2060 het aantal geboorten weer groter is dan het aantal overledenen.

Wat betreft geboorten is de prognose van het totale vruchtbaarheidscijfer op de lange termijn stabiel, met een verwachting van 1,70 kind per vrouw voor 2030-2070 (Stoeldraijer et al., 2020). Echter, de prognoses van het aantal geboorten zijn ook afhankelijk van de leeftijdsopbouw van de Nederlandse bevolking. Bij een toename van immigratie van vrouwen in de vruchtbare leeftijd kan ook het aantal geboorten toenemen. Het CBS voorziet een dergelijke ontwikkeling in de komende 50 jaar. De prognose is dat de Nederlandse bevolking op termijn door migratie diverser wordt; naar verwachting stijgt het aandeel inwoners met een migratieachtergrond de komende 50 jaar van 25 naar 42% in 2070 (Stoeldraijer et al., 2020).

De toe- of afname die toe te schrijven is aan migratie laat zich moeilijk voorspellen, omdat internationale migratie sterk kan fluctueren (WSP et al., 2021; Stoeldraijer et al., 2020). Diverse politieke en economische gebeurtenissen hebben in het verleden gezorgd voor golfbewegingen in het aantal immigranten (Manders & Kool, 2015). Met het oog op de toekomst zou klimaatverandering mogelijk wereldwijd kunnen leiden tot een grote stroom migranten (Clement et al., 2021). Klimaatverandering zou niet alleen migrantenstromen op internationale schaal in gang kunnen zetten, maar er zou ook sprake kunnen zijn van een verschuivende verdeling van de inwoners in Nederland vanuit de lager gelegen Randstad richting de hoger gelegen zandgronden (Wolters et al., 2018; Baptist et al., 2019).

Huisvesting

De toekomstige huisvestingsbehoefte wordt niet alleen bepaald door grootte en samenstelling van de bevolking, maar ook door veranderingen ten aanzien van de huishoudensgrootte. De prognose is dat de gemiddelde huishoudensgrootte in Nederland zal afnemen tot 2,08 personen per huishouden in 2050. Dit is een gevolg van individualisering en vergrijzing (De Jong et al., 2022). Van belang is dat dit een landelijk gemiddelde is, terwijl de huishoudensgrootte tussen stad en platteland verschilt: in steden zijn veel eenpersoonshuishoudens en is de gemiddelde huishoudensgrootte dan ook lager dan het landelijk gemiddelde (Te Riele et al., 2019). Momenteel ligt de gemiddelde huishoudensgrootte in de regio Arnhem-Nijmegen met 2,05 al onder het landelijk gemiddelde (2,14), met als uitschieters een gemiddelde omvang

van 1,82 voor Nijmegen en 1,93 personen per huishouden voor Arnhem (CBS, 2021b). In steden kan dan ook weinig verdere 'huishoudensverduunning' optreden, en wordt een lichte toename voorzien van de huishoudensomvang (Te Riele et al., 2019).

Kijkend naar de ontwikkelingen hoe huisvesting gerealiseerd kan worden, is er een trend zichtbaar richting kleinere wooneenheden (PBL, 2019). De vergrijzing zet een toenemende behoefte in gang naar flexibele woningen met domotica en kleine woningen/appartementen in binnenstedelijke gebieden. Migranten en expats houden eveneens een voorkeur voor compacte binnenstedelijke gebieden. Verspreid is er in de toekomst behoefte aan meer woningen voor een- en tweepersoonshuishoudens. Het belang van leefbaarheid en kleinschaligheid wordt daarbij meer gevoeld; het leidt tot nieuwe (collectieve) woonvormen als hofjes, appartement-dorpen (binnenstedelijk), dorps bouwen (uitleggelieden) en boerenhoven (verdwindende agrarische bebouwing) (Alkemade, 2020; PBL, 2019). Hoewel er aan de ene kant een ontwikkeling naar kleiner wonen is, is er aan de andere kant een trend richting groter wonen vanwege de behoefte aan multifunctionaliteit (wonen/werken/zorgvoorziening).

De toenemende diversiteit in levensstijlen vraagt om een toenemende diversiteit in woonmilieus en om een grotere flexibiliteit van plekken en gebouwen (PBL, 2019). Bestaande woonwijken worden diverser qua woon- en werkvormen en verduurzaming zal forse ingrepen in de bestaande bebouwing en infrastructuur (water, energie, ict) tot gevolg hebben (PBL, 2019). Qua nieuwbouw zal circulair bouwen het traditionele bouwen verdringen; houtbouw legt CO₂ vast, waar traditionele betonbouw leidt tot enorme CO₂-uitstoot (Alkemade, 2020). Daarbij zullen woningen of voor 100 jaar worden gebouwd, of voor aanzienlijk kortere periodes (Alkemade, 2020); grofweg zijn er twee typen te onderscheiden: 1) lange termijn bouw van hoogwaardige materialen waarbij aanpasbaarheid en materialenhergebruik centraal staan, en 2) lichte en flexibele bouw, die snel en goedkoop van restmaterialen kunnen worden gerealiseerd en indien nodig makkelijk gedemonteerd of verplaatst kunnen worden (PBL, 2019).

2.6 Mobiliteit

Technologische ontwikkelingen zullen een grote invloed hebben op onze toekomstige mobiliteit. Allereerst betreft dit innovaties in voertuigtechnologie die tot nieuwe vervoersvormen kunnen leiden, waarbij het vooruitzicht is dat toekomstige vervoersmiddelen elektrisch of op waterstof (met name een reële optie voor vrachtwagens, bussen en scheepvaart) worden aangedreven (Rijkswaterstaat, 2020). Daarnaast beïnvloeden ontwikkelingen op het gebied van ICT de noodzaak tot gemak, mogelijkheden en beleving van reizen. De toepassing van sensoren en verkeersregulerende technologie kan bovendien resulteren in slimme infrastructuur (PBL, 2019). Al met al is de toekomstige mobiliteitsvraag onzeker, niet alleen doordat deze samenhangt met digitalisering en technologische innovaties, maar zeker ook met maatschappelijke veranderingen, waaronder de diversificatie van leefstijlen en individualisering. Een mogelijke manier om met deze onzekerheid om te gaan, is door infrastructurele investeringen te doen op basis van een visie ten aanzien van gewenste vervoersvormen en de daarmee samenhangende ruimtelijke structuur, en niet op basis van een geprognosticeerde vervoersvraag (PBL, 2019).

Personenvervoer

Voor personenvervoer zijn ontwikkelingen op het gebied van ICT van grote invloed doordat ze enerzijds de noodzaak tot verplaatsen verkleinen (virtueel ontmoeten) en anderzijds reizen gemakkelijker maken. Deze ontwikkelingen zouden mogelijk kunnen resulteren in langere, maar minder frequente verplaatsingen, op basis van de wetmatigheid dat een persoon een vrijwel constante hoeveelheid van zijn tijd besteedt aan reizen (wet van Behoud van REistijd en VERplaatsingen; BREVER-wet). Echter, de vraag is of deze wetmatigheid standhoudt met de opkomst van autonome voertuigen die – naar verwachting – van invloed zullen zijn op de waardering van reistijd; dankzij dergelijke innovaties kan in de toekomst reistijd productiever of aangenamer besteed worden (PBL, 2019).

Naar verwachting zullen er in de toekomst meer manieren zijn om te kunnen reizen, waaronder met drones, zelfrijdende auto's en meer alternatieven op e-bikes (actieve mobiliteit). Bovendien is de verwachting dat er in de toekomst meer maatwerkoplossingen voor mobiliteitsbehoeften voorhanden zijn: ICT faciliteert een omslag van bezit naar gebruik van voertuigen met *Mobility as a service* én vergroot daarmee de

vervoersopties. Dit kan zowel op het bezit van individuele als op het gebruik van collectieve vervoersvormen van invloed zijn (PBL, 2019). Autonome vervoersvormen kunnen ontzorgen en huidige mobiliteitsbarrières opheffen, doordat het onafhankelijk vervoer voor iedereen mogelijk maakt. Bovendien biedt de (nagenoeg) volledige vervanging van het huidige wagenpark met zelfrijdende auto's op de lange termijn ook kansen voor stedelijke inrichting. Zo kan er veel wegruimte kan worden bespaard vanwege het hoge precisie-rijden van zelfrijdende auto's en is er minder vraag naar parkeerruimte in de stad door de mogelijkheid om de auto's zichzelf te laten parkeren buiten de stad. Ook kunnen zelfrijdende auto's worden gedeeld waardoor de grootte van het wagenpark afneemt (Morsink et al., 2016; Tillema et al., 2015). Naast de kansen die dit autonome vervoer biedt, zijn er ook belangrijke ethische en ruimtelijke vraagstukken die van cruciale belang zijn op hoe deze nieuwe voertuigen onderdeel gaan uitmaken van het toekomstige vervoerssysteem (PBL, 2019).

Goederenvervoer

Op het gebied van goederenvervoer zijn belangrijke ontwikkelingen, onder meer dat distributie fijnmaziger wordt, waar verschillende kleinere (elektrische) voertuigen, fietsen en drones een aandeel in kunnen hebben. Andere mogelijke ontwikkelingen die hiermee samenhangen, zouden onder andere de toepassing van kleinschalige distributiehubs en splitsbare voertuigen kunnen zijn (PBL, 2019). Voor vervoer over water is een aandachtspunt dat in de toekomst de sterk wisselende rivierafvoeren een uitdaging vormen voor bevaarbaarheid. Ontwikkelingen in de scheepvaartsector zouden op technische aanpassingen moeten aansturen die, naast de overstap naar duurzame energie, het mogelijk maken dat transport over water ook mogelijk is bij minder diepgang of vaarbreedte (WSP, 2021). Mogelijk is dit een potentie die kan worden ingevuld door autonome vaartuigen; zelf-varende boten lijken een kansrijk alternatief voor goederenvervoer in de toekomst (TU Delft, n.d.).

Wat betreft de toekomstige omvang van goederenvervoer, is een belangrijk aandachtspunt dat de energietransitie grote effecten kan hebben op internationale transportstromen (Rijkswaterstaat, 2020). Met het oog op kolen- en olievervoer vanaf de Rotterdamse haven naar het achterland, zal met name de lange termijn energiestrategie van Duitsland van grote invloed zijn op het goederenvervoer in Nederland via spoor en binnenvaart (Bayer et al., 2019). De energietransitie zou al in 2050 tot een relatieve afname in vervoersvolume van -20% in spoorvervoer en -13% in binnenvaart kunnen leiden (Ecorys, 2020). Daarnaast is de verwachting dat het ontstaan van regionale kringlopen van grondstoffen, voortkomend uit een circulaire economie, ook voor transport grote consequenties zal gaan hebben (Rijkswaterstaat, 2020).

2.7 Energie

Onzeker toekomstbeeld

Op het gebied van energie zijn er veel ontwikkelingen gaande om een energietransitie naar een fossiel-vrije samenleving te realiseren (PBL, 2019). Er worden onder meer nieuwe technologieën voor energieopwekking en opslag ontwikkeld en, in samenhang hiermee, zijn er ontwikkelingen ten aanzien van het transporteren van energie. Al met al is het nog moeilijk te voorzien hoe ons energiesysteem er op de lange termijn uit zal zien (Rijkswaterstaat, 2020). Onzekerheden hierin hangen niet alleen samen met de vraag op welke wijze en met behulp van welke bronnen er energie zal worden opgewekt en opgeslagen, maar ook in hoeverre energie zal worden geïmporteerd versus op Nederlands grondgebied zal worden opgewekt én in welke mate winning, transport en opslag van energie decentraal versus centraal zal plaatsvinden (Rijkswaterstaat, 2020; Afman & Rooijers, 2017; Afman & Rooijers, 2017). Bovendien bepalen sociaal-maatschappelijke en politieke afwegingen grotendeels hoe ons toekomstige energiesysteem eruit zal komen te zien (Afman & Rooijers, 2017; Afman & Rooijers, 2017). Er zijn dan ook diverse toekomstbeelden van de energietransitie denkbaar (SODM, 2018). Een ding dat zeker is, is dat ons energiesysteem ingrijpend gaat veranderen. Daarnaast is de kans groot dat er in de toekomst nieuwe technieken voor productie en consumptie van energie worden ontwikkeld, waar op dit moment nog geen zicht op is (Afman & Rooijers, 2017).

Energieopwekking

Op dit moment lijken met name wind en zon de voornaamste bronnen voor de toekomstige opwekking van elektriciteit. Daarbij zijn er zowel innovatieve lokale en/of kleinschalige opwekkingsmogelijkheden denkbaar als meer grootschalige oplossingen, zoals windparken en zonnevelden op zee (Rijkswaterstaat, 2020). Naast

elektriciteit lijkt er ook voor warmte een belangrijke rol te zijn op de lange termijn. Lage temperatuurenergie voor verwarmen en koelen kan worden voorzien door regionale warmtenetten, die gekoppeld zijn aan diverse bronnen – waaronder bijvoorbeeld restwarmte uit energie, glastuinbouw, geothermie en aquathermie: thermische energie uit oppervlakte, afval- en drinkwater (Rijkswaterstaat, 2020). Ook zou in de toekomst elektriciteit grootschaliger kunnen worden gebruikt om middels warmtepompen lage temperatuurwarmte te produceren. Waterstof is voor de toekomst mogelijk een interessante energiedrager voor de procesindustrie en hoge temperatuurprocessen (SODM, 2018). Tot slot zou ook biomassa een belangrijker aandeel kunnen hebben in de toekomst, onder meer voor de omzetting naar elektriciteit; naar groen gas en biofuels, en eventueel waterstof (SODM, 2018). Over de toekomstige rol van biomassa is echter geen eenduidig beeld te schetsen, aangezien het ter discussie staat of biomassa al dan niet voor energetische doeleinden moet worden ingezet (Afman & Rooijers, 2017).

Energieopslag

Qua energieopslag lijkt hernieuwbaar gas een belangrijk aandeel te gaan spelen om vraag en aanbod te balanceren (Afman & Rooijers, 2017). Waterstof zou als opslagmogelijkheid en back-up kunnen gaan dienen voor wanneer er onvoldoende aanbod is van zon- en windenergie (SODM, 2018). Andere reële toekomstige mogelijkheden voor opslag zijn onder meer ondergrondse opslag van energie, bijvoorbeeld warmte-koude opslag in aquifers om seizoenfluctuaties op te vangen, en het verhogen en verlagen van waterpeilen in bassins – waarbij gebruik wordt gemaakt van de potentie van kinetische energie van water (door gebruik te maken van hoogteverschil of stroomsnelheid) (Rijkswaterstaat 2020; SODM, 2018).

Energievraag

Wat betreft de toekomstige energievraag is de verwachting dat er forse veranderingen zullen gaan optreden. Een duidelijke trend daarbij is dat energievraag meer en meer een *electriciteitsvraag* wordt (Afman & Rooijers, 2017). Wat betreft huishoudens zou de toekomstige vraag kunnen toenemen door een toenemend gebruik van (slimme) apparaten – ondanks dat deze *devices* ook efficiënter worden (Hischier et al., 2020). Tot slot zijn er veel onzekerheden rondom de toekomstige energievraag. De industriële vraag zou bijvoorbeeld aanzienlijk kunnen veranderen door een duurzamere productie van grondstoffen. De vraag naar waterstof kan aanzienlijk toenemen als dit de voornaamste bron wordt voor de productie van kunstmest en chemische industrie. Dat zou dan vervolgens een grote electriciteitsvraag voor de productie van waterstof tot gevolg hebben (Afman & Rooijers, 2017).

2.8 Economie

Digitalisering en technologie

Door digitalisering en ontwikkelingen als *artificial intelligence* (AI) worden tijd en plaats meer en meer irrelevant voor het uitvoeren van werkzaamheden. Deze flexibilisering werkt door in ruimtevraag en locatievoorkeuren van bedrijven en in samenhang daarmee in ruimtelijke keuzes ten aanzien van wonen, reizen, recreatie en voorzieningen. Het is nog onduidelijk in hoeverre tijd- en plaats-onafhankelijk werken verder doorzet. De verwachting is dat toekomstige werklocaties veelal een mix aan functies kennen, waaronder werken, wonen, horeca, sport en recreatie (PBL, 2019). Technologie faciliteert twee mogelijke ontwikkelingsrichtingen van de economie: enerzijds die van economische groei en steeds verdergaande (hyper)efficiency, anderzijds die van welvaart of welzijn in brede zin: robots kunnen taken overnemen waardoor het kansen biedt voor zaken als vrije tijd en zingeving (PBL, 2019).

Circulaire economie

Als we op de huidige voet doorgaan, zal naar verwachting de mondiale vraag naar grondstoffen de komende veertig jaar verdubbelen, met de bijbehorende leveringsrisico's en negatieve effecten zoals klimaatverandering, milieuvervuiling en biodiversiteitsverlies (Hanemaaijer et al., 2023). Een transitie naar een circulaire economie is daardoor urgent en beoogt het radicaal minder en efficiënter gebruiken van grondstoffen. De ambitie van de Rijksoverheid is dan ook dat Nederland in 2050 volledig circulair is, hetgeen vereist dat zowel productie- als consumptieprocessen circulair worden. Voor een succesvolle transitie zijn naast het nationale en Europese schaalniveau ook de regio's cruciaal: daar zitten bedrijven en andere maatschappelijke actoren die de transitie kunnen versnellen met bijvoorbeeld het opzetten van een nieuwe keten, een nieuw businessmodel of procesttechnologie. Regio's hebben het potentieel om daarbij de

specifieke expertise die bij maatschappelijke partijen, bedrijven en kennisinstellingen aanwezig is te benutten om aan de circulaire economie invulling te geven (Hanemaaijer et al., 2023).

Specialisatie in verbonden economische kerngebieden

Als gevolg van verregerende specialisatie van de economie, kunnen bedrijfsactiviteit en economische ontwikkeling zich de komende decennia gaan concentreren in een beperkt aantal grootstedelijke, gespecialiseerde economisch sterke regio's wereldwijd (Cushman & Wakefield, 2019). In dat kader is de Randstad op dit moment weliswaar al een van de vier grootste economieën in Europa, maar het concept Randstad beperkt zich nog te veel tot de regio Noord-Holland, Zuid-Holland, Utrecht en Flevoland en bestaat bovendien nog te veel uit geïsoleerde 'pockets' (Cushman & Wakefield, 2019). Cushman & Wakefield bepleiten dat voor een toekomstige sterke economische structuur, economische kerngebieden – waaronder Eindhoven en Arnhem-Nijmegen – worden ingepast in het grotere geheel van Randstad-Nederland en uiteindelijk wellicht zelfs de Noordwest-Europese deltametropool (Randstad – Ruhrgebied – Vlaamse Ruit). Hierbij gaat het niet alleen om het aanbieden van specifieke producten en diensten in de verschillende kerngebieden, maar ook om het opzetten van een sterk gespecialiseerde en geavanceerde regionale economische structuur, waardoor dergelijke geavanceerde producten en diensten alleen maar in deze specifieke regio's en steden kunnen worden aangeboden. Goede voorbeelden hiervan zijn Brainport Eindhoven met Philips en ASML, en NXP in Nijmegen als halfgeleiderproducent. Voor een dergelijke regionale economische structuur is de vestigingslocatie erg belangrijk – met name voor samenwerkingspartners, maar ook voor onderwijs en wetenschap – evenals een goede arbeidsmarkt met toegang tot een aantrekkelijke woon- en werkomgeving (Cushman & Wakefield, 2019).

Vestigingsklimaat en leefomgeving

Een zich specialiserende economie vraagt om een grote, open en toegankelijke arbeidsmarkt, om vervolgens veel talent aan te trekken. Illustratief is Silicon Valley, dat zich heeft ontpopt tot een concentratiegebied voor talloze hightechsectoren; het huisvest hoofdkantoren van een veelvoud aan multinationals en trekt daarmee kapitaal en arbeidskrachten aan. Nederland heeft ongeveer dezelfde omvang als Silicon Valley, maar heeft in plaats van een geconcentreerde economie een zeer gefragmenteerde arbeidsmarkt (Vereniging Deltametropool, 2017). Op dit moment profiteert Nederland onvoldoende van typische agglomeratievoordelen, zoals een grote gemeenschappelijke arbeidsmarkt, meer innovatiekracht en meer voorzieningen tegen lagere kosten (Cushman & Wakefield, 2019). Economische ontwikkeling in wetenschap en technologie is gebaat bij netwerkverbindingen tussen steden – al kunnen netwerkfuncties maar gedeeltelijk dezelfde voordelen bieden als een grotere, op zichzelf staande stad (Meijers et al., 2009). In de toekomst zal het hebben van hoogopgeleide arbeidskrachten waarschijnlijk een belangrijke factor zijn voor de vestiging van nieuwe, kennisintensieve industrieën (Gerst et al., 2009). Een hoogwaardige leefomgeving, dankzij bijvoorbeeld de kwaliteit van de openbare ruimte, natuur- en cultuurhistorische waarden, komt het economische vestigingsklimaat van steden ten goede. De kwaliteit van de leefomgeving is een belangrijke factor om (internationale) kenniswerkers aan te trekken (Vereniging Deltametropool, 2017). Binnen de GMR biedt het landschap veel kansen om een aantrekkelijk vestigingsklimaat te bieden: er liggen kansen om te wonen, werken en recreëren in gebieden van sociale, ecologische en cultuurhistorische betekenis (Vereniging Deltametropool, 2017).

3 Resultaten landschapsanalyse en SWOT

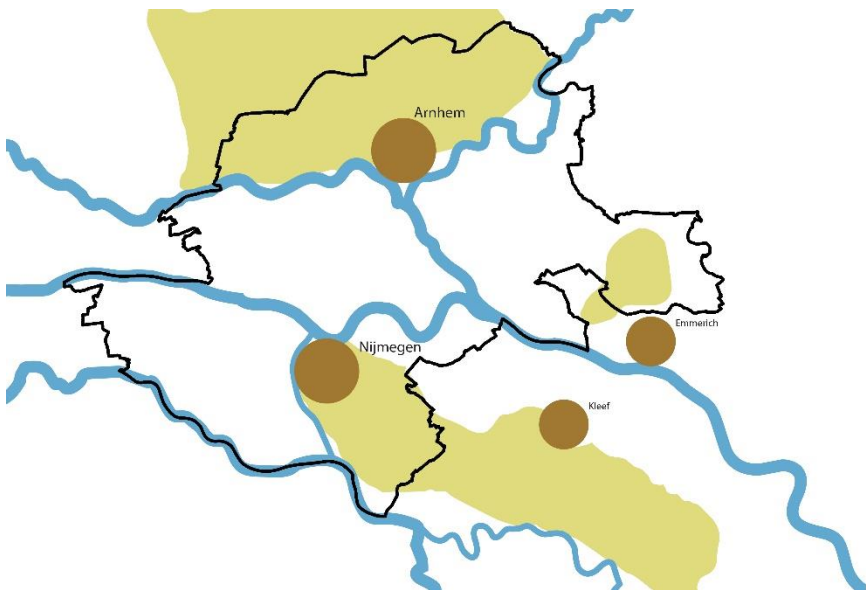
Een landschapsanalyse is uitgevoerd om de kenmerken van het huidige landschap in beeld te krijgen, en in het bijzonder om inzicht te krijgen in de karakteristieken van bodem, ondergrond en het watersysteem in de regio. De inzichten vanuit deze analyse zijn vertaald naar een typering van het landschap in deelgebieden. In dit hoofdstuk wordt allereerst deze landschappelijke typering behandeld. Vervolgens wordt voor ieder van de onderscheiden deelgebieden de belangrijkste huidige kenmerken, kansen en risico's van het bodem- en watersysteem samengevat in een SWOT-analyse.

3.1 Landschappelijke typering

Rivierengebied te midden van stuwwallen

Het GMR-gebied kan op basis van ontstaansgeschiedenis, bodem en ondergrond en de daarmee samenhangende processen onderverdeeld worden in twee karakteristieke hoofdlandschappen (zie figuur 9):

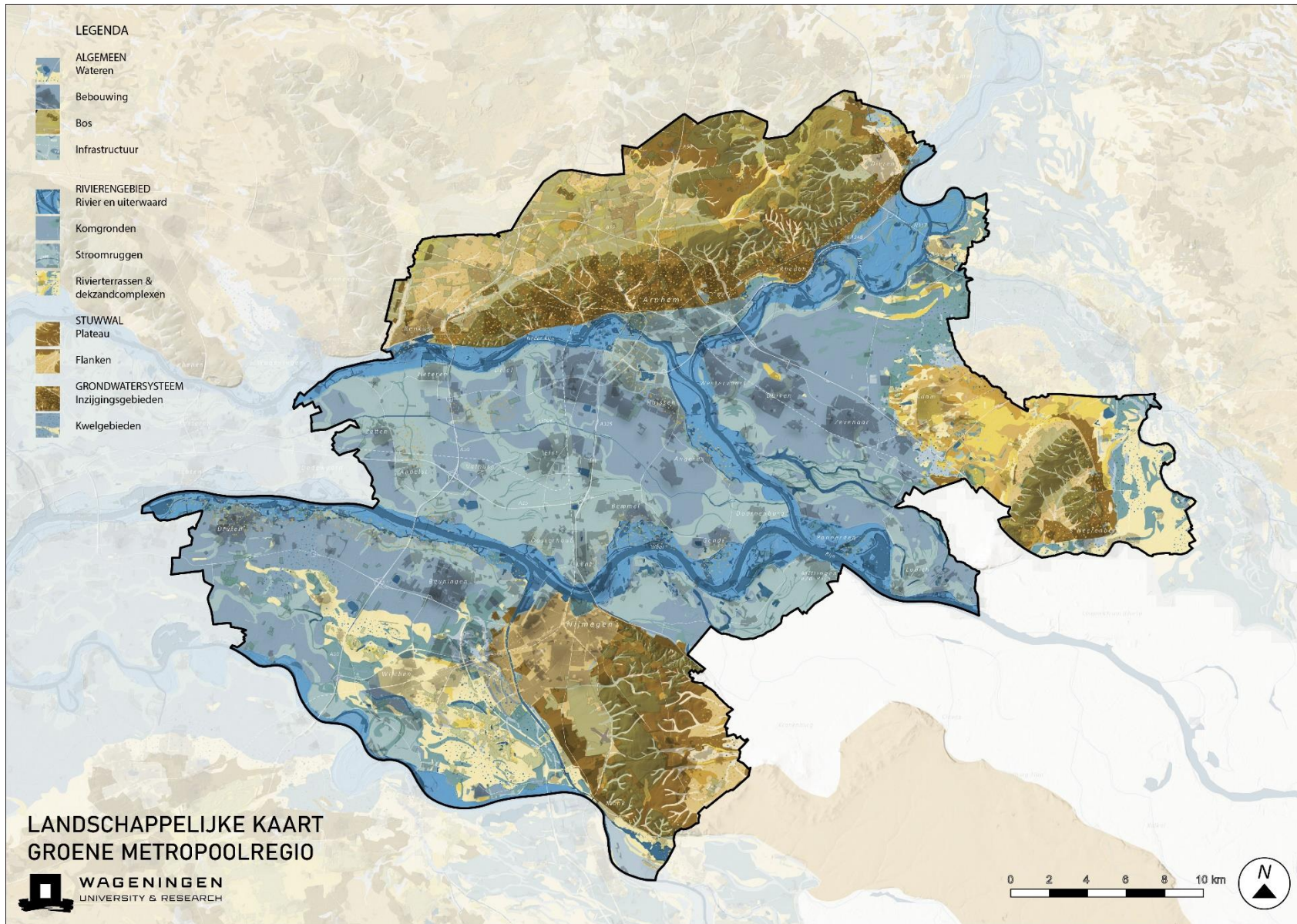
- De stuwwallen: hoger gelegen, droge gebieden die gevormd zijn onder invloed van het landijs in de voorlaatste ijstijd. Ze bestaan vooral uit zand en grind en zijn overwegend bebost.
- Het rivierengebied: het gebied dat is gevormd onder invloed van de rivieren de Maas en de Rijn, die zich opsplijst in Waal, Neder-Rijn en IJssel. Het omvat de huidige rivierlopen en uiterwaarden en de lage, vaak natte binnendijkse kleigebieden van oeverwallen en kommen die voor bedijking zijn gevormd onder invloed van de rivier.



Figuur 9 Schematische weergave van de karakteristieke landschappen van de GMR. In geel de stuwwallen met daartussen het rivierengebied met de huidige rivierlopen (in blauw).

Karakteristieke deelgebieden

Gericht op landgebruiksplanning in het kader van lange termijn klimaateffecten is op basis van bodem, ondergrond en rivierinvloed een verdere onderverdeling gemaakt in zes sublandschappen. De stuwwal is onder te verdelen in plateaus en de flanken van de stuwwallen. Het rivierengebied is verder onder te verdelen in de rivieren en hun huidige uiterwaarden, de komgronden, de stroomruggen en de rivierterrassen & dekzandcomplexen. Deze karakteristieke deelgebieden zijn weergegeven in een landschappelijke kaart van de regio (zie figuur 10).



Figuur 10 Landschappelijke kaart van de GMR die de landschapsanalyse samenvat, met een onderverdeling van het rivierengebied en de stuwwal in zes sub-landschappen.

3.2 SWOT-resultaten per deelgebied

Op basis van de landschapsanalyse, de literatuurstudie en *expert judgement* is voor de onderscheiden deelgebieden een SWOT-analyse uitgevoerd vanuit een biofysisch/landschappelijk perspectief. De resultaten van deze analyse worden hieronder op hoofdlijnen samengevat.

3.2.1 De stuwwal-plateaus

De hoogste en droogste delen binnen de GMR zijn de plateaus van de stuwwallen. Op hoofdlijnen is de bodem hier van zand en grind. Je vindt er anno 2023 veel bossen.

De belangrijkste sterktes, knelpunten, kansen en bedreigingen voor dit landschap zijn:

Sterktes

- Hoge infiltratiecapaciteit van de bodem op het plateau.
- De bodem is geschikt om het opgenomen regenwater te zuiveren.
- Onder het Veluweplateau bevindt zich een grote grondwaterbel.
- De Veluwe is het grootste aaneengesloten natuurgebied van Europa.
- Op de plateaus bevinden zich waardevolle oude gemengde bossen, zoals de bossen uit 1500-1799 op de stuwwal van Nijmegen/Groesbeek en Montferland.

Knelpunten

- Water wordt onvoldoende vastgehouden:
 - Sterke grondwateronttrekking en verdamping door naaldbos;
 - Vasthoudend vermogen van zandgrond is zeer beperkt.
- Grondwaterstanden staan diep onder het maaiveld. Vegetatie op de stuwwal is daarom afhankelijk van hoeveel regen er valt.

Kansen

- De bodem biedt kansen voor infiltratie, zuivering en ondergrondse opslag van zoetwater en daarmee grondwateraanvulling.
- Bosbouw voor lokale houtproductie.
- Door bassins en meer groen te creëren in de brongebieden van de beekdalen kan water worden vastgehouden.

Bedreigingen

- In de toekomst is er een toenemend hoog risico op droogte voor de regen-afhankelijke vegetatie, doordat langere periodes zonder neerslag worden verwacht.
- Door deze toegenomen kans op droogte is er in de toekomst ook een grotere kans op natuurbranden op de plateaus.

3.2.2 De flanken van de stuwwallen

De overgang van de plateaus van de stuwwallen en het rivierengebied wordt gevormd door de flanken van de stuwwallen. Hier liggen landgoederen, monumentale gebouwen en parken met een grote cultuurhistorische waarde en door het landschap stromen diverse beken.

De belangrijkste sterktes, knelpunten, kansen en bedreigingen voor dit landschap zijn:

Sterktes

- De landgoederen en buitenplaatsen op de flanken zijn van belangrijke cultuurhistorische waarde; zo bevindt zich het Gelders Arcadië op de stuwwalflank van de Veluwe.
- De aanwezigheid van waardevolle nat-drooggradiënten leidt tot grote ecologische variatie.
- Het gebied is rijk aan bronnen en bron-/sprengbeken (Renkumse en Heelsumse Beek, Beek-Ubbergen etc.).

Knelpunten

- Sprengbeken voeren van oudsher water snel af; houden het niet vast.

Kansen

- Aanwezige hoogteverschillen en beekdalen bieden kansen voor:
 - ventilatie;
 - het opwekken van energie (waterstromen);
 - het realiseren van ecologische verbindingen tussen de hoge en lage delen in de regio.
- Door bassins te creëren in de beekdalen kan water beter worden vastgehouden.

Bedreigingen

- Metingen tonen een afnemende grondwaterstand onder de Veluwe – dit vormt een bedreiging voor natuur op de flanken, die afhankelijk is van kwelwater.
- 's Winters meer kans op grondwateroverlast (in stedelijk gebied) op de flanken van de stuwwallen, door een toenemende grondwaterstand onder invloed van stijgende neerslag in de winter.

3.2.3 Het rivierbed en de uiterwaarden

In de GMR liggen vier grote rivieren: de Maas, de Rijn, de Waal en de IJssel, en hun uiterwaarden. De Maas stroomt vanuit België en Limburg naar het noorden, en buigt onder Nijmegen af naar het westen. De Rijn stroomt vanuit Duitsland ons land binnen. Vlak na de grens, bij Pannerden en Millingen, begint de delta van de Rijn. De rivier splitst zich: het noordelijke deel stroomt verder als Neder-Rijn en IJssel, terwijl de zuidelijke rivier vanaf hier Waal heet. Op dit punt wordt de verdeling bepaald van het water dat de rest van Nederland in stroomt.

De belangrijkste sterktes, knelpunten, kansen en bedreigingen voor dit landschap zijn:

Sterktes

- Rivieren zijn een belangrijke bron van zoetwater, voor zowel de drinkwatervoorziening als voor de natuur, landbouw en industrie.
- Dit landschapstype biedt verkoeling door de aanwezigheid van vegetatie, water en wind.

Knelpunten

- Door de diepe ligging van de vaargeulen draineren deze de omgeving ten tijde van droogte. Natuur, landbouw en bebouwd gebied komen daardoor onder druk te staan.
- Splitsingspunten van rivieren zijn kwetsbare punten, zowel met het oog op hogere waterstanden als met het oog op bodemerosie (met name de Waalbochten).

Kansen

- Als de rivier meer ruimte en een natuurlijke dynamiek krijgt, kan er natuur worden gerealiseerd met grote waarde: rivieren als 'biodiversiteitscorridors'.
- De vrije uitmonding van zijrivieren en beken (en beekdalen) in de rivieren ten behoeve van ecologische meerwaarde: gradiëntontwikkeling van hoog-droog-mineralenarm naar laag-nat-mineralenrijk door uitwisseling van water, organische stof, sediment, organismen. Ook komt dit vispopulaties ten goede.

Bedreigingen

- Verdergaande verdroging van het buitendijkse gebied, door de drainerende werking en de steeds verdere insnijding van het zomerbed. Dit is het gevolg van de hoge afvoersnelheid in het bovenstroomse deel van de Rijn, de beperkte aanwezigheid van sediment in het water en/of het optreden van natuurlijke erosie en sedimentatieprocessen (o.a. door kunstwerken bovenstrooms, grondstofdelving, baggeren).
- Grotere extremen in afvoerdebiet vereisen meer ruimte voor waterberging. Door verwachte lagere afvoerdebieten komt bevaarbaarheid in het gedrang, evenals de waterinlaat voor het regionale systeem (o.a. drinkwaterinname bij Nieuwegein, Biesbosch).

3.2.4 Stroomruggen

In de GMR hebben de rivieren in de afgelopen duizenden jaren – voor de bedijking – vele verschillende lopen gehad (zie bijlage 1). De aanwezigheid van deze voormalige riviergeulen is terug te zien in de ondergrond. Boven op zandige afzettingen uit het Pleistoceen zijn in het Holoceen ondoorlatende kleilagen (komgronden, zie par. 3.2.5) en zandige lichamen afgezet: stroomruggen.

Stroomruggen zijn de delen van het rivierengebied die hoger liggen en bestaan uit de voormalige beddingen en oeverafzettingen van de meanderende rivieren. De ondergrond van de beddingen bestaan voor het grootste deel uit zand. Deze grond is, net als het pleistocene zand er onder, goed doorlatend. De oeverwallen zijn de voormalige oevers van de rivieren die alleen bij hoogwater overstromden; er werd dan fijnzandige kleigrond afgezet. Door de goede doorlatendheid van de zandige beddingen staan de stroomruggen hydrologisch in contact met de rivieren. De grondwaterstanden bewegen mee met de waterstanden van de Rijn en Waal. Staan die laag, dan zijn de stroomruggen droger, terwijl het gebied bij hoogwater juist natter wordt.

De belangrijkste sterktes, knelpunten, kansen en bedreigingen voor dit landschap zijn:

Sterktes

- Dit zijn de hogere delen van het rivierengebied, die minder snel overstromen.
- De grond van de oeverwallen is vruchtbaar. Op deze vruchtbare grond liggen de vele boom- en fruitkwekerijen waar de Overbetuwe om bekendstaat.
- De stroomruggen kenmerken zich door de aanwezigheid van elementen van archeologische waarde, zoals de Romeinse limes, en cultuurhistorische waarde, zoals landgoederen en kastelen.

Knelpunten

- Doordat de grondwaterstand meebeweegt met de waterstanden in de rivieren, is dit gebied soms erg droog. Bij langdurige droogte is er niet altijd meer genoeg water voor de tuinbouw en fruitteelt waar de regio nu bekend om staat.

Kansen

- De vruchtbare gronden van de oeverwallen bieden kansen voor grondgebonden landbouw.

Bedreigingen

- Stroomruggen kunnen in de toekomst meer grondwaterproblematiek gaan ervaren door de grotere extremen in afvoerdebiet van de rivieren doordat de grondwaterstand en rivier elkaar beïnvloeden. Er is in de toekomst een grotere kans op grondwateroverlast bij hoogwater, en een grotere kans op droogte bij lage waterstanden in de rivier.

3.2.5 De komgronden

Komgronden zijn de natte en lager gelegen delen van het rivierengebied. Toen de rivieren nog niet bedijkt waren, bleef bij hoge waterstanden het water het langst staan in de kommen. Daarna bleven er pakketten zware 'komklei' achter. Dichter langs de oeverwallen (zie par. 3.2.4) van de Maas, Waal, Rijn en IJssel bestaan deze afzettingen zowel uit zware als lichte klei.

Van oorsprong zijn de kommen erg nat; het grondwater staat er hoog. Maar om in deze gebieden landbouw te kunnen bedrijven, houdt men de kommen nu kunstmatig droger. We zullen in de toekomst moeten zoeken naar een nieuwe balans tussen water vasthouden in winter en voorjaar, zodat we in de droge zomers genoeg eigen water beschikbaar hebben.

De belangrijkste sterktes, knelpunten, kansen en bedreigingen voor dit landschap zijn:

Kwaliteiten

- Door de kleiige bodem infiltreert water niet gemakkelijk en kan water goed bovengronds worden vastgehouden.

Knelpunten

- De bodem is steeds minder goed bewerkbaar door indrogen en ondergrondverdichting.
- Er treedt schade op aan bebouwing en infrastructuur door de zettingsgevoelige bodem. Zetting komt zowel door ophoging (bijv. t.b.v. wonen, infrastructuur) als door verdroging en krimp/zwelgedrag van de kleigrond.
- Bij hoge waterstanden kan er binnendijks wateroverlast ontstaan door 'piping': water dat onder de dijken doorstroomt als gevolg van de grote drukverschillen door het verschil in waterstand.

Kansen

- De komgronden kunnen fungeren als een klimaatbuffer door de grondwaterstand – die nu kunstmatig laag wordt gehouden – omhoog te brengen.
- We kunnen rivierwater bergen in komgronden door de aanleg van binnendijkse moeraszones. Hiermee kan water worden vastgehouden voor in droge tijden en kan er tegendruk worden gerealiseerd t.b.v. de piping-problematiek van dijken.
- In de komgronden kan een overloopafvoer voor (extreem) hoogwater worden gerealiseerd; dit komt de waterveiligheid en het waterbergend vermogen van de winterbedding ten goede doordat sediment niet meer in het winterbed bezinkt.

Bedreigingen

- In het gebied liggen stedelijke uitbreidingswijken en infrastructuur die – met het oog op waterveiligheid – zonder maatregelen mogelijk niet toekomstbestendig zijn.

3.2.6 De rivierterrassen & dekzandcomplexen

Rivierterrassen zijn oude, hoger gelegen rivierbeddingen die bestaan uit zand en grind. Je vindt ze ten westen van Nijmegen, op de lijn Bergharen-Wijchen-Hatertse Vennen. Op deze rivierterrassen zijn zandduinen gevormd, doordat er tijdens de laatste ijstijd zand uit de rivier op de oevers is komen te liggen. Deze bijzondere landschapselementen worden rivierduinen genoemd. Dekzanden bestaan uit fijne zanddeeltjes, die tijdens de laatste ijstijd door de wind zijn afgezet in grote gebieden van Nederland. In de Groene Metropoolregio liggen er dekzandgebieden ten westen van Montferland.

Omgeving Montferland wordt nu vooral gebruikt voor landbouw en veehouderij. Op de rivierterrassen en -duinen bij Bergharen-Wijchen-Hatertse Vennen liggen afwisselend bebouwing, landbouw en natuur. Je vindt er zowel bos als vennen, moeraslandschap en heide. Ook vind je hier (ruïnes van) kastelen.

De belangrijkste sterktes, knelpunten, kansen en bedreigingen voor dit landschap zijn:

Kwaliteiten

- Op de rivierterrassen ten westen van Nijmegen (omgeving Ewijk-Wijchen-Druten-Apeltern) bevinden zich veel cultuurhistorische waarden.
- Er zijn veel waardevolle vennen te vinden daar waar zich klei in de bodem bevindt, bijvoorbeeld bij de rivierduinen Wijchen-Hatert, die zijn gelegen op het oeverwal- en kommensysteem.

Knelpunten

- Vennen worden alleen aangevuld met regenwater en zijn daarom kwetsbaar voor verdroging.

Kansen

- Deze gebieden liggen iets hoger dan het omliggende gebied en kenmerken zich door de zandgrond; regenwater infiltreert gemakkelijk en er is een kleiner overstromingsrisico.
- Bij de rivierterrassen komt kwelwater naar boven en zijn veel gradiënten aanwezig; door deze condities is dit waardevol leefgebied voor relatief veel soorten flora en fauna.

Bedreigingen

- Door de zandige bodem en verwachte lange perioden van droogte in de toekomst, kan het gebied erg droog worden. Dit kan leiden tot schades aan de natuur en landbouw.

3.2.7 Aandachtsgebieden

Naast de hierboven omschreven zes deelgebieden zijn er nog twee deelgebieden die aandacht behoeven wegens specifieke omstandigheden: de Oude IJsselvallei en het verstedelijkte gebied Arnhem – Nijmegen.

Oude IJsselvallei

De Oude IJssel is een zijrivier van de rivier de IJssel die in Duitsland onder de naam Issel begint en bij Doesburg in de IJssel uitmondt. Een klein gedeelte van de vallei van de Oude IJssel bevindt zich in de GMR-het gebied ten oosten van de stuwwal van Montferland. Dit gebied heeft speciale aandacht, omdat het bij extreme waterafvoeren het risico heeft te overstromen door in Duitsland optredende overstromingen van de Rijn via de Oude IJssel naar de IJssel (zie par. 2.2). Bij (erg) hoogwater in de Rijn kan de dijk bij Emmerich doorbreken en daardoor kan dit gebied ten oosten van Montferland 'via de achterdeur' overstromen. We zijn hier dus erg afhankelijk van de maatregelen die Duitsland neemt.

Verstedelijkt gebied Arnhem – Nijmegen

Nijmegen staat met bijna 3400 inwoners per vierkante kilometer in de top 20 gemeentes van dichtstbevolkte gebieden in Nederland. Arnhem staat op plek 51 met ruim 1600 inwoners per vierkante kilometer (o.a. doordat de gemeentegrens loopt tot in het Nationale Park de Hoge Veluwe) (CBS, 2022b). Arnhem en Nijmegen kennen, net als veel steden in Nederland, nauwelijks hoogbouw: de huidige groeizones zijn vooral ruimte-intensieve laagbouw geweest. Verstedelijking heeft plaatsgevonden dicht op de grote rivieren (Waal, Neder-Rijn) en dicht op kleinere waterlopen zoals de Linge.

Wanneer het aantal inwoners in de GMR zal toenemen, zal met name in de zone tussen deze steden de verstedelijkingsdruk toenemen. In dit gebied is het daarmee van extra groot belang om de juiste strategische keuzes te maken die een aangenaam en veilig leefklimaat waarborgen, ook in de toekomst.

4 Slot: van analyse naar ontwerp en perspectieven

In deze rapportage zijn de resultaten beschreven van de analyses die ten grondslag liggen aan de visie 'Groene Metropoolregio 2120'. Hoofdstuk 2 heeft de resultaten van de literatuurstudie behandeld en in hoofdstuk 3 is ingegaan op de bevindingen uit de landschapsanalyse. Dankzij deze analyses zijn enerzijds de bestaande kwaliteiten en de knelpunten van de Groene Metropoolregio in beeld gebracht en anderzijds de toekomstige kansen en bedreigingen. In dit hoofdstuk beschrijven we tot slot hoe deze analyseresultaten gebruikt kunnen worden als input voor het vervolg van de studie 'GMR 2120'.

Zoals geschetst in de inleiding van dit rapport (zie par. 1.2, figuur 2), is de hier gerapporteerde analysefase de eerste fase van de studie 'GMR 2120'. Deze fase wordt gevolgd door twee andere fasen: 'ontwerp' en 'perspectieven'.

4.1 Ontwerp

Doel van de tweede stap, 'ontwerp', is om een langetermijnvisie (2120) voor de Groene Metropoolregio Arnhem – Nijmegen te ontwikkelen. Deze visie dient een inspirerend toekomstbeeld te schetsen dat als aantrekkelijke stip op de horizon kan fungeren voor keuzes in de planvorming vandaag de dag. Een toekomstbeeld dat laat zien hoe de regio in 2120 een aantrekkelijke en klimaatrobuuste leefomgeving kan zijn, die oplossingen biedt aan verschillende maatschappelijke vraagstukken.

Ontwerpkaders

Om tot dit ontwerp te komen, zetten we allereerst de ontwerpkaders: welke principes zijn leidend voor het ontwerp en voor welke opgaven moet het ontwerp een antwoord bieden? De literatuurstudie heeft inzicht gegeven in de mogelijke veranderingen die op de GMR afkomen. De vraag is echter hoe groot die veranderingen zullen zijn. De analyseresultaten kunnen gebruikt worden om kaders voor het ontwerp te formuleren. Zo is op basis van de geschetste verwachtingen ten aanzien van klimaatverandering en demografie als ontwerpkader geformuleerd dat de visie antwoord moet geven op een situatie waarin klimaat en rivierregime veranderd zijn in lijn met het KNMI-W_H-scenario, en waarin er 2,5 keer zo veel huishoudens gehuisvest worden in de GMR.

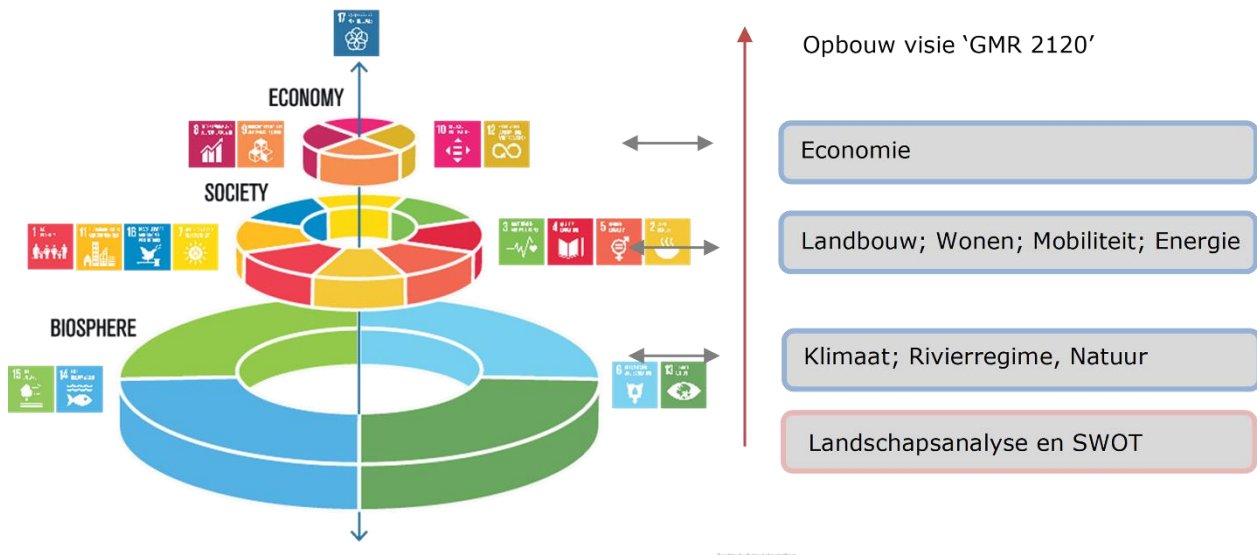
Ontwerpoplossingen

Vervolgens volgt een serie aan ontwerpateliers waarin in enkele iteratieslagen naar een kaartbeeld voor de regio voor 2120 wordt toegewerkt. In deze ateliers wordt samengewerkt door stedenbouwkundigen, landschapsarchitecten en -ontwerpers van WENR en de GMR. De analyseresultaten voeden dit ontwerpproces met mogelijke (ontwerp)oplossingen. Zo heeft de literatuurstudie inzichtelijk gemaakt welke mogelijke ontwikkelingen en innovaties denkbaar zijn ten aanzien van bijvoorbeeld teelt-, energie- en mobiliteitssystemen. Ook is uit de literatuur naar voren gekomen waar de kansen liggen voor de economie, klimaatbestendige natuurontwikkeling en landbouw. Deze bevindingen zullen in het ontwerpproces gebruikt worden om met de visie GMR 2120 een overkoepelend antwoord te bieden op de belangrijkste maatschappelijke opgaven die in de regio spelen: circulaire regio, groene groeiregio, ontspannen regio, productieve regio en verbonden regio (Groene Metropoolregio, n.d.).

Ontwerpbenadering

De opgehaalde kennis uit de analysefase wordt tot slot benut voor de ontwerpbenadering. Zoals eerder benoemd, spelen in de toekomstvisie 'GMR 2120' natuur en natuurlijke processen een hoofdrol; de visie neemt de draagkracht en kenmerken van het landschap als vertrekpunt. In andere woorden: oplossingen sluiten aan op wat het landschap te bieden heeft; zo worden keuzes ten aanzien van landgebruik gebaseerd op verschillen in hoogte, bodemsoorten en grondwatersysteem. De landschapsanalyse heeft inzicht gegeven in deze karakteristieken van het natuurlijke systeem en maakt het zodoende mogelijk om een visie te formuleren op basis van deze karakteristieken.

Het ontwerp wordt in verschillende lagen opgebouwd, in navolging van het uitgangspunt dat natuur en landschap leidend zijn in de keuzes die we maken (figuur 11). Dat wil zeggen dat we eerst kijken naar landgebruik dat sterk afhankelijk is van dit systeem, zoals de rivier, natuur en grondgebonden landbouw. Vervolgens wordt er verder ontworpen met functies als wonen, werken en mobiliteit. Middels meerdere iteraties van ontwerp en evaluatie wordt een initieel schetsontwerp steeds verder uitgewerkt en aangescherpt. De ontwerpplagen resulteren in een kaartbeeld 'GMR 2120' en ondersteunende fotovisualisaties.⁴



Figuur 11 De visie 'GMR 2120' wordt gelaagd opgebouwd, met het landschap als basis en als drager voor een duurzame samenleving en economie. Dit is in lijn met het gedachtegoed dat duurzame ontwikkeling van een economie en samenleving ingebed is in een gezonde en veerkrachtige biosfeer (Stockholm Resilience Center, 2016). Rechts staat verbeeld hoe de landschapsanalyse (rood) en onderzoeksthema's uit de literatuurstudie (blauw) terugkomen in het ontwerpproces.

4.2 Perspectieven

Gedurende het visievormingsproces is het gesprek aangegaan met bestuurders en beleidsmakers in de regio middels diverse workshops op twee regiocongressen. De inbreng uit de regiocongressen en de bevindingen uit het ontwerpproces zijn samengebracht in tien zogenaamde 'perspectieven'. Deze stellingen benoemen de belangrijkste kansen en dilemma's die de 2120-visie agendeert waarover men nu al in gesprek moet gaan, opdat al vroegtijdig over deze langetermijnvraagstukken wordt nagedacht en er al op voorgesorteerd kan worden in tegenwoordige planvormingsprocessen.

⁴ Het eindresultaat van de studie 'GMR 2120' – de toekomstvisie met bijbehorende perspectieven – is gebundeld als "Te gast in het Rijndal. Groene Metropoolregio Arnhem-Nijmegen: een visie voor 2120" (Voskamp et al., 2023).

Literatuur

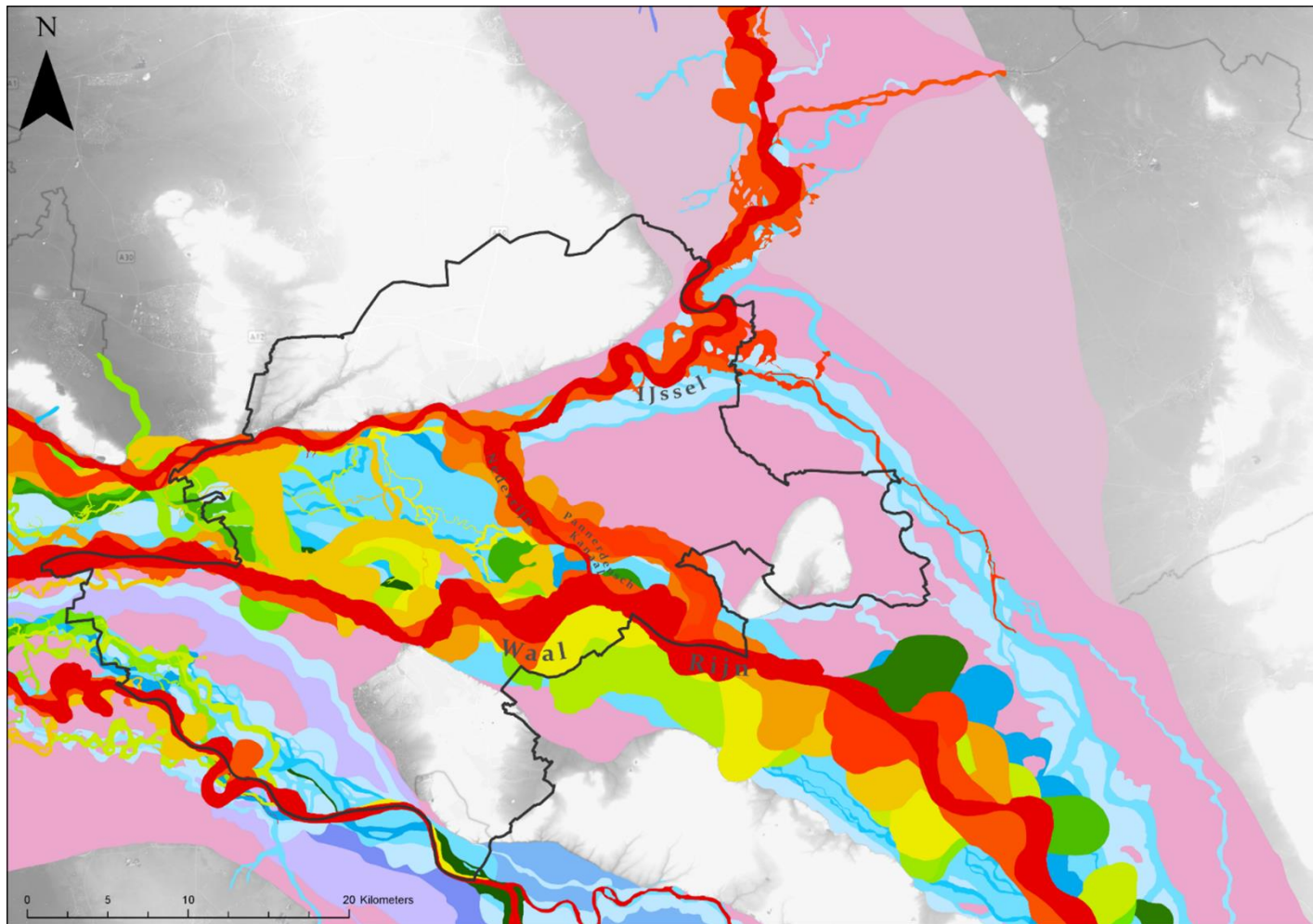
- Afman, M., Rooijers, F. (2017). Net voor de Toekomst. CE Delft-rapport 17.3L53.170
- Alkemade (2020). De toekomst van Nederland. Thoth Uitgeverij 9789068688078
- Baptist, Hattum, Reinhard, van Buuren, de Rooij, Hu, van Rooij, Polman, van den Burg, Piet, Ysebaert, Walles, Veraart, Wamelink, Bregman, Bos & Selnes (2019). A nature-based future for the Netherlands in 2120. Toegankelijk via: <https://doi.org/10.18174/512277>
- Bayer, J., Verstraten, P., Zwaneveld, P.(2019). Energietransitie en Goederenvervoer in de WLO. CPB Notitie. Centraal Planbureau
- Bestman, Geurts, Egas, van Houwelingen, Lenssinck, Koorneef, Pijlman, Vroom, van Eekeren (2019). Natte teelten voor het veenweidegebied. Louis Bolk Instituut. 2019-014 LbD
- Bomers, A., Schielen, R. M., & Hulscher, S. J. (2019). Consequences of dike breaches and dike overflow in a bifurcating river system. *Natural Hazards*, 97, 309-334. Toegankelijk via: <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03643-y>
- Brondízio, E. S., Settele, J., Díaz, S., Ngo, H. T. e. (2019). Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services [IPBES Report. IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1144 pages. ISBN: 978-3-947851-20-1
- CBS (2020). StatLine. Prognose bevolking; kerncijfers, 2020-2070
- CBS (2021a). Prognose levensverwachting 65-jarigen: 20,93 jaar in 2027
- CBS (2021b). Statline. Regionale Kerncijfers Nederland
- CBS (2022a). Statline. Bevolking op 1 januari en gemiddeld; geslacht, leeftijd en regio
- CBS (2022b). Wat is verstedelijking? Bevolkingsdichtheid 2022. Toegankelijk via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/dossier-verstedelijking/wat-is-verstedelijking->
- Clement, V., Rigaud, K. K., De Sherbinin, A., Jones, B., Adamo, S., Schewe, J., ... & Shabahat, E. (2021). Groundswell part 2: Acting on Internal Climate Migration
- Cohen, Dr. K.M., Stouthamer, Dr. E. (2012): Digitaal Basisbestand Paleogeografie van de Rijn-Maas Delta. DANS. <https://doi.org/10.17026/dans-x7q-sjtw>
- Compendium voor de Leefomgeving (2022). Index Natuur en Landschap.
- Cormont, A., Gerritsen, A., Grashof-Bokdam, C., Michels, R., Polman, N., Verweij, P., van Hinsberg, A. (2022). Modelling in collaboration: A study of the interweaving of agriculture and nature. *Landschap*, 39(3), 167-174.
- Cushman & Wakefield (2019). Sweet Spot Randstad; Nederland heeft de wereld veel te bieden.
- van Dam & van den Oever (2019). Catalogus biobased bouwmaterialen
- Deltares, BoschSlabbers & Sweco (2021). Op Waterbasis; grenzen aan de maakbaarheid van ons water- en bodemsysteem.
- van Dijk, W., Bijker, J.W., Verstand, D., Stienezen, M.W.J., Zom, R.L.G., Dawson, A (2020). Effecten van klimaatverandering, eiwittransitie op gezamenlijk grondgebruik op akkerbouw- en melkveebedrijven. Wageningen Research, Rapport WPR-1062 [..]. Toegankelijk via: <https://edepot.wur.nl/537655>
- Ebbens, E., Mulder, S., De Haan, M., Schipper, C.A., Jungerling, K.]. (2021). Verkenning effecten klimaatdrukfactoren op de natuur van de grote wateren. Rijkswaterstaat. LIFE20 IPC/NL/0006
- Ecorys (2019). Basisprognoses Goederenvervoer 2020.
- Europese Commissie (n.d.). Pesticides and plant protection. Website toegankelijk via: https://agriculture.ec.europa.eu/sustainability/environmental-sustainability/low-input-farming/pesticides_en, bezocht op 13-4-2023.
- Gerst, J., Doms, M., & Daly, M. C. (2009). Regional growth and resilience: evidence from urban IT centers. *Economic Review-Federal Reserve Bank of San Francisco*, 1.
- Geografisch Informatiesysteem Agrarische Bedrijven (GIAB) (2022).
- Groene Metropoolregio, n.d.: <https://www.groenemetropoolregio.nl/opgaven/>
- Haasnoot, M., Diermanse F., Kwadijk, J., de Winter, R., Winter, G. (2019). Strategieën voor adaptatie aan hoge en versnelde zeespiegelstijging. Een verkenning. Deltares rapport 11203724-004 [..]
- Haasnoot, M., Diermanse F. (ed.) (2022). Analyse van bouwstenen en adaptatiepaden voor aanpassen aan zeespiegelstijging in Nederland. Deltares 11208062-005-BGS-0001

- Hamers, D. Kuiper, R., van der Wouden, R., van Dam, F. van Gaalen, F., van Hoorn, A., van Minnen, J., Pols, L., Ritsema van Eck, J. (2021). Grote opgaven in een beperkte ruimte. Ruimtelijke keuzes voor een toekomstbestendige leefomgeving. Planbureau voor de Leefomgeving. PBL-publicatienummer: 4318
- Hanemaaijer, A., Kishna, M. Koch, J., Lucas, P., Rood, T., Schotten, K., van Sluisveld, M.(2023). Integrale circulaire Economie Rapportage 2023. Planbureau voor de Leefomgeving.
- Harder R., Wielemaker, R., Molander, S., Öberg, G. (2020). Reframing human excreta management as part of food and farming systems. *Water Research*:175. 115601
- Hegnauer, M., Kwadijk, J., & Klijn, F.] (2015). The plausibility of extreme high discharges in the river Rhine. Deltares rapport: 1220042-004-ZWS-0008 [
- van Heusden, W., Sluiter, H., Tijnagel, M., Vercrujssse, W., Zuidhof, A. (2021). Ecologische Systemopgave PAGW-Rivieren – Naar klimaatbestendige robuuste riviernatuur in 2050. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Rijkswaterstaat en Staatsbosbeheer.
- Hischier, R., Reale, F., Castellani, V., & Sala, S. (2020). Environmental impacts of household appliances in Europe and scenarios for their impact reduction. *Journal of cleaner production*, 267, 121952.
- de Jong, A., te Riele, S., Huisman, C., van Duin, C., Husby, T., Stoeldraijer, L.(2022). Regionale bevolkings- en huishoudensprognose 2022-2050. Centraal Bureau voor de Statistiek & Planbureau voor de Leefomgeving.
- Juventia, S. D., Rossing, W. A., Ditzler, L., & van Apeldoorn, D. F. (2021). Spatial and genetic crop diversity support ecosystem service delivery: A case of yield and biocontrol in Dutch organic cabbage production. *Field Crops Research*, 261, 108015.
- Kleinhans, M.G., Klijn, F., Cohen, K.M., Middelkoop, H. (2013). Wat wil de rivier zelf eigenlijk? Deltares rapport: 1207829-000 [
- Klein Tank, A., Beersma, J., Bessembinder, J., van den Hurk, B. Lenderlink, G.(2015). KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie. Herziene uitgave 2015. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt, 34 pp
- Klijn, F., Hegnauer, M., Beersma J., Sperna Weiland, F (2015). Wat betekenen de nieuwe klimaatscenario's voor de rivierafvoeren van Rijn en Maas? Samenvatting van onderzoek met GRADE naar implicaties van nieuwe klimaatprojecties voor rivierafvoeren. Deltares en Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut [.]
- Klimaatadaptatienederland (n.d.). Kennisdossier Droogte. Wat zijn de gevolgen van toenemende droogte? <https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/droogte/gevolgen-toenemende-droogte/>
- Klimaat-effectatlas (n.d.). Ontwikkeling kans grondwateroverlast. Toegankelijk via: <https://www.klimaat-effectatlas.nl?config=84dc5fa9-ebc0-426d-88de-389530f51db2&divisionId=YWFMLMWERURF&gm-x=174753.0038265349&gm-y=442433.30874586507&gm-z=9&gm-b=1600876569061,true,1;1603879530188,true,1;1620049797718,false,0>
- KNMI (2021). KNMI Klimaat signaal'21: hoe het klimaat in Nederland snel verandert, KNMI, De Bilt, 72 pp.
- Kranendonk R., Verstand, D., de Boer, T. 2022 Inventarisatie Actieprogramma Klimaatadaptatie Landbouw; Risico's, knelpunten en kansen; de stand van zaken. Wageningen University & Research. Wageningen Environmental Research. WUR-rapport 3175. KD-2021-041.
- Leclère, D., Obersteiner, M., Barrett, M. et al. Bending the curve of terrestrial biodiversity needs an integrated strategy. *Nature* 585, 551–556 (2020). Toegankelijk via: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2705-y>
- Manders, T. & Kool, C. (2015). Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving Nederland in 2030 en 2050: twee referentiescenario's. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving en het Centraal Planbureau
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., and Zhou, B. (eds.). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.
- Meijers, E. J., Burger, M. J., & Hoogerbrugge, M. M. (2016). Borrowing size in networks of cities: City size, network connectivity and metropolitan functions in Europe. *Papers in Regional Science*, 95(1), 181-198.
- Ministerie van Economische Zaken (2013). *Natuurambitie Grote Wateren 2050 en verder*. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken

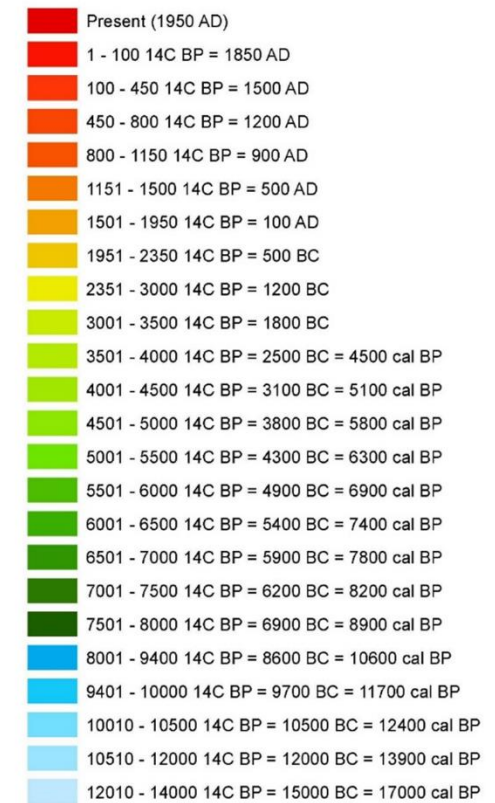
- Morsink, P., Klem, E., Wilmlink, I., de Kievit, M. (2016). Zelfrijdende auto's. Verkenning van implicaties op het ontwerp van wegen. Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO) en Royal Haskoning DHV. Referentie: T&PBE6132R001D03
- Mommer, L., Jeanne, N., Apeldoorn, D., van Hattum, T., Jones-Walters, L., Polman, N., Richter, A. Westerink, J. (2022) Nature-positive futures; Food systems as a catalyser for change. Mansholt lecture, toegankelijk via <https://doi.org/10.18174/574286>. ISBN 978-94-6447-325-4
- Noordhuis, R., van Geest, G., Maarse, M., Vergouwen, S., Boon, A (2019). KlimaatScan. Wat zijn de gevolgen van klimaatverandering voor het ecologisch functioneren van de Nederlandse Grote Wateren? [NIBE (2019). Potentie van biobased materialen in de bouw.
- PBL (2019). Oefenen met de toekomst. Scenario's voor stedelijke ontwikkeling, infrastructuur en mobiliteit in Nederland voor 2049. Ruimtelijke verkenningen 2019.
- Philip S., Kew, S., van der Wiel, K., Wanders, N., Oldenborgh, G.]. (2020). Attributie van de droogte van 2018 in Nederland [Achtergrondartikel KNMI, toegankelijk via: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/attributie-van-de-droogte-van-2018-in-nederland>
- te Riele, S., Huisman, C., Stoeldraijer, L., de Jong, A., van Duin, C., Husby, T. (2019). Regionale bevolkings- en huishoudensprognose 2019-2050. Centraal Bureau voor de Statistiek & Planbureau voor de Leefomgeving.
- Rijkswaterstaat (2020). Expeditie RWS – Trends, Gesprekken, Scenario's. Toegankelijk via: <https://www.expeditierws2050.nl/wp-content/uploads/2020/10/Expeditie-RWS2050-trends-gesprekken-scenarios-lowres.pdf> [website niet langer online]
- Schra, J., Kleinhans, M., Cohen, K., Haasnoot, M., Middelkoop, H. (2022). Kennisprogramma Zeespiegelstijging: Wat wil de delta? *Uitzicht met inzicht: neogeografische kaarten van het Nederlandse laagland in een toekomst met zeespiegelstijging*. Rapport 31171979
- Spruyt, A., Asselman, N. (2017). Afvoerverdeling rijntakken. Deltares rapport: 11200539-0000
- Staatstoezicht op de Mijnen (SODM) (2018). Toekomstbeeld van de energietransitie
- van der Sluis, T., Pedroli, B., Woltjer, I., van Elburg, E., & Maas, G. (2020). Uitwerking PAGW Natuuropgave Hotspots Grote Rivieren: eindrapport []. Wageningen Environmental Research. WENR-rapport: 3031. Toegankelijk via: <https://doi.org/10.18174/534790>
- Stoeldraijer, L., de Regt, S., van Duin, C., Huisman, C., te Riele, S. (2020). Bevolkingsprognose 2020-2070: bevolking groeit langzamer door corona []. Centraal Bureau voor de Statistiek. Toegankelijk via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/statistische-trends/2020/bevolkingsprognose-2020-2070-?onepage=true#c-6--Conclusie>
- Stockholm Resilience Center (2016). Sustainable Development Goals Wedding Cake. Afbeelding toegankelijk via <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-the-sdgs-wedding-cake.html>
- Tillema, T., Berveling, J., Gelauff, G. van der Waard, J. Harms, L. Derriks, H. (2015) Driver at the wheel? Self-driving vehicles and the traffic and transport system of the future. Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid. KIM-rapport: 15-A07. ISBN/EAN 978-90-8902-139-7 M
- TU Delft (n.d.). Autonoom varen. Website toegankelijk via <https://www.tudelft.nl/3me/onderzoek/check-out-our-science/autonoom-varen>, bezocht op 13-4-2023.
- Vereniging Deltametropool (2017). SPOT ON. Het landschap als vestigingsvoorwaarde.
- Vermeulen, M., Willemse, B. Arch, M., van Woerden, B., van der Waal, J. Carbonell, A., Lansink, C. (2019). Bouwen met bomen. Studio Marco Vermeulen
- Verstand, D., Selnes, T., Ozkan-Gulzari, S WUR (2021). My farm in 2050. Webblog. Gepubliceerd op 15-10-2021, toegankelijk via <https://weblog.wur.eu/biobased-economy/my-farm-in-2050/>
- Verstand, D., Bijker, J.W., van der Burgt, E., van den Brink, L., Timmer, R., Groten, J., (2022). De klimaatbestendigheid van rassen en gewassen in de open teelten. Wageningen Research, Rapport WPR-909.
- Verstand, D., Schaap, B., Schoorlemmer, H., de Wolf, P., van Balen, D., Verhagen, J., (2020). Klimaatadaptatie in de open teelten. Inventarisatie van klimaatrends, risico's en adaptatiemaatregelen voor boerenbedrijven in de open teelten. Wageningen Research, rapport WPR 824. Toegankelijk via <https://edepot.wur.nl/515383>
- Vollset, S.E., E. Goren, C.-W. Yuan, J. Cao, A.E. Smith, T. Hsiao, C. Bisignano, et al. (2020). Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: A forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*, 396(10258), pp. 1285-1306.

-
- Voskamp, I.M., Timmermans W., Van Moûrik, M., Vredenburg, P., Woolderink, H., Van Klaveren, S., Dill, S., Van Apeldoorn, D., Verstand, D., Van Linge, J.M., Roosenschoon, O., Van Hattum, T. (2023). Te gast in het Rijndal; Groene Metropoolregio Arnhem-Nijmegen: een visie voor 2120.
- Wageningen Environmental Research (2021). Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland. Wageningen Environmental Research
- Wageningen Environmental Research (2022). Geografisch Informatiesysteem Agrarische Bedrijven (GIAB). Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.
- Wal, R. S. van de, Nicholls, R. J., Behar, D., McInnes, K., Stammer, D., Lowe, J. A., ... & White, K. (2022). A High-End Estimate of Sea Level Rise for Practitioners. *Earth's future*, 10(11)
- de Wolf, P., Verstand, D., Poppe, K., Vellinga, Th (2019). Mest en metropolen. Wageningen University & Research. WPR Rapport-791. Toegankelijk via: <https://edepot.wur.nl/478479>
- Wolters, H., G. van den Born, E. Dammers en S. Reinhard (2018). Deltascenario's voor de 21e eeuw, actualisering 2017.
- WSP, DEFACTO & WUR (2021). Beeld op de Rivieren; Ontwikkelperspectief voor de Maas en RijnakkenWUR (n.d.) Proeftuin Agroecologie en Technologie. Website, bezocht op 18-4-2023. Toegankelijk via: <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/plant-research/Open-teelten/Landbouw-van-de-toekomst/proeftuin-agroecologie.htm>
- WUR (2019). Appels beschermen tegen schimmelziekten en plagen met 'Cabrio-kap'. 15 augustus 2019. Toegankelijk via: <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/plant-research/Open-teelten/bomen-fruit/show-bbf/Appels-beschermen-tegen-schimmelziekten-en-plagen-met-Cabrio-kap.htm>
- WUR (2021a). Project 'Laag Nederland 2050' ontwikkelt visies voor landelijk gebied. 27 oktober 2021. Toegankelijk via: <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Environmental-Research/show-wenr/Project-Laaq-Nederland-2050-ontwikkelt-visies-voor-landelijk-gebied.htm>
- WUR (2021b). WUR start in Lelystad eerste grootschalige onderzoeksfaciliteit voor agroforestry in Nederland. 6 januari 2021. Toegankelijk via: <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/plant-research/show-wpr/WUR-start-in-Lelystad-eerste-grootschalige-onderzoeksfaciliteit-voor-agroforestry-in-Nederland.htm>

Bijlage 1 Voormalige rivierlopen in de GMR en tijdperiode waarin deze rivierlopen zijn verlaten



Age of Channel Abandonment



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3284
ISSN 1566-7197



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.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3284
ISSN 1566-7197

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.

