

Landschapsecologische Systemanalyse Gelderse Poort



In het kader van de Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW)
Preverkenning Gelderse Poort

9 september 2022

Alphons van Winden
Bart Reeze
Bart Peters (H5)
Peter Veldt
Dirk Oomen



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



Ministerie van Infrastructuur
en Waterstaat

De PAGW is een programma van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat.

De uitvoering van de Preverkenning PAGW Gelderse Poort vindt in opdracht van beide ministeries plaats door Rijkswaterstaat, Staatsbosbeheer en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). Daarnaast is de Provincie Gelderland betrokken bij de totstandkoming van deze studie.



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu



staatsbosbeheer



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

 provincie
Gelderland

Inhoud

1. Inleiding	5
Nieuw vliegwiel voor natuur in de Gelderse Poort	5
Aanleiding.....	6
Gebiedsafbakening.....	6
Werkwijze.....	8
2. Ontstaansgeschiedenis (genese van het gebied)	9
2.1 Millennia lang mondingsgebied van rivieren	9
2.2 Ontstaan van de stuwwallen	9
2.3 De Rijn baant zich een weg	10
2.4 Ontstaan stroomgordels, oeverwallen en kommen.....	12
2.5 Ontstaan van de IJssel	15
2.6 Splitsingspunten, gevolg van en effecten op morfodynamiek.....	19
2.7 Samenvatting.....	23
3. Ingrepen in natuurlijk functioneren en gevolgen voor de dynamiek.....	25
3.1 Lokale bedijking: 10 ^e – 12 ^e eeuw.....	25
3.2 Aanleg dijkringen: 12 ^e – 14 ^e eeuw.....	26
3.3 Aanleg zomerkades (1750 – 1850)	30
3.4 Riviernormalisaties 1850 – 1890	32
3.5 Aanleg stuwen: vanaf 1970	37
3.6 Recente ontwikkelingen in beheer en inrichting (1990 – nu)	39
3.7 Gevolgen voor de het ecologisch functioneren van de diverse ingrepen.....	44
4. Hydromorfologisch functioneren	46
4.1 Peildynamiek in het zomerbed en de uiterwaarden	46
4.2 Morfodynamiek in de uiterwaarden	55
4.3 Morfodynamiek in het zomerbed en in kribvakken	65
4.4 Rivierkwel naar - en wegzijging vanuit - de uiterwaarden	75
4.5 Grondwaterstromen en kwel naar het binnendijkse gebied.	83
4.6 Rivierbegeleidende wateren en daarmee samenhangende processen.....	90
5. Landgebruik en ecologie van de Gelderse Poort.....	95
5.1 Natuurareaal.....	95
5.2 Huidig landgebruik buiten natuurgebieden	96

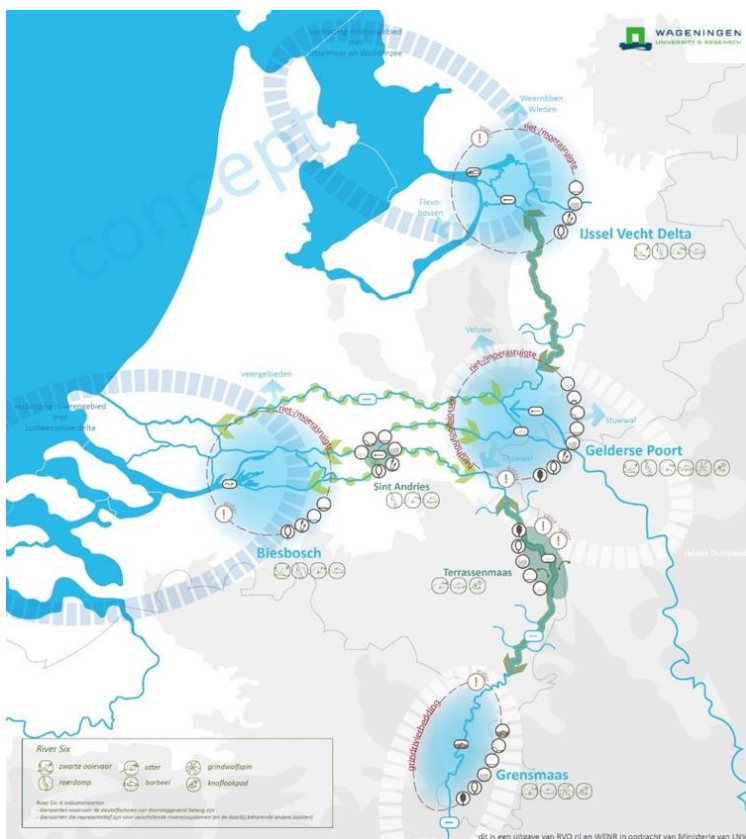
5.3 Gradiënt van ecotopen in de Gelderse Poort.....	98
5.4 Kenmerkende ecotopen in de Gelderse Poort.....	101
6. Leidende Principes voor maatregelen in de Gelderse Poort.....	122
1. Herstel de hydrologische relatie tussen rivier en uiterwaarden.....	122
2. Revitaliseer de oorspronkelijke morfologische processen van de rivier.....	123
3. Creëer ruimte en tijd voor natuurlijke successie	123
4. Versterk relatie tussen riviersysteem en omgeving.	124
5. Pas ingrepen toe volgens vorm, maat en schaal, passend bij het specifieke deelgebied	124
Literatuur.....	127
Bijlagen.....	130
Bijlage 1: Geologische opbouw	130
Bijlage 2: Geomorfologie.....	132
Bijlage 3: Grondwater (stijghoogten, standen en stroming).....	132
Bijlage 4: Oppervlaktewater.....	137
Bijlage 5: Bodem.....	139

1. Inleiding

Nieuw vliegwiel voor natuur in de Gelderse Poort

De Gelderse Poort is een uniek gebied in het Nederlandse riviereengebied. De Rijn splitst hier op korte afstand van elkaar in 3 verschillende lopen met ieder een geheel eigen karakteristiek. Een bijzonder fenomeen daarin is ook de IJssel, die pas relatief recent is ontstaan en zich daardoor heel anders heeft ontwikkeld dan de beide andere riviertakken. Deze rivierbeddingen lagen vroeger nooit lang op dezelfde plek en in het gebied zijn daarom tal van oude lopen te vinden. Sommige van deze lopen liggen inmiddels binnendijks, zoals de Oude IJssel die vanuit de Boven-Rijn ten noorden van Montferland nog lang Rijnwater afvoerde en het Rijnstrangengebied, waar een vrijwel intact historisch rivierenlandschap is geconserveerd. De vele rivierverleggingen en de steeds weer veranderende afvoerverdeling over de riviervertakkingen maakten de Gelderse Poort tot een bijzonder dynamisch gebied. Onze voorouders hebben veel moeite gedaan om deze dynamiek steeds verder aan banden te leggen. De zich verplaatsende beddingen zorgden namelijk vaak voor dijkdoorbraken en het vele zandtransport leidde tot ontstaan van eilanden, die de scheepvaart in de weg lagen.

Meer recent vormt de Gelderse Poort ook de bakermat voor nieuwe natuur langs onze rivieren. Hier liggen enkele van de eerste natuurgebieden waarin vanuit een systeembenadering aan herstel van onze Nederlandse riviernatuur werd gewerkt. Mede op basis van deze eerste initiatieven uit begin jaren '90 is de belangstelling voor riviernatuur de laatste 3 decennia sterk toegenomen en zijn er ook in toenemende mate programma's en beleid omheen gebouwd. Dit is zowel gebeurd vanuit het rivierbeleid (o.a. programma 'Ruimte voor de Rivier') als vanuit het natuurbeleid (bv. EHS en N2000). Inmiddels heeft een groot deel van het gebied de status van wettelijk beschermd natuurgebied.



Figuur 1.1. Kaart met de ligging van de 4 hotspots van de PAGW met daartussen de stepping stones. Uit: Natuurverkenning Grote Rivieren (brochure hotspots).

Aanleiding

De Programmatische Aanpak Grote Wateren (PAGW) is een nieuw programma in de rij van natuurherstelinitiatieven, dat beoogt om de riviernatuur van Maas en Rijn takken robuust en toekomstbestendig te ontwikkelen, waaronder ook de Gelderse Poort. Dit gebied is, samen met de IJssel-Vechtdelta, de Biesbosch en het Grensmaasgebied, één van de vier zogenaamde hotspotgebieden van de PAGW. Daartussen liggen enkele belangrijke 'stapsteengebieden', zoals de Terrassenmaas en het gebied rond Fort St. Andries langs de Middenwaal, die ook een belangrijke plek krijgen in de ontwikkeling van een robuuster ecologisch netwerk (zie figuur 1.1).

Uitvoering van de PAGW is bovendien onderdeel geworden van het Programma Integraal RivierManagement (IRM). Dit programma beoogt om vanuit een integrale werkwijze tot oplossingen te komen voor enkele belangrijke rivierkundige vraagstukken langs onze rivieren, met name de voortschrijdende beddingerosie en hoogwaterveiligheid. Zeker de beddingerosie, en daarmee dalende gemiddelde grondwaterstanden, vormt ook een groot probleem voor de natuur langs onze rivieren. Een samenhangende aanpak IRM-PAGW kan dus belangrijke voordelen hebben, omdat oplossingen vaak voor beide gunstig kunnen uitwerken.

De voorliggende landschapsecologische systeemanalyse is onderdeel van de 'Preverkenning PAGW Gelderse Poort' (tevens pilotproject voor IRM). Deze preverkenning is een eerste stap naar een pakket van maatregelen en oplossingsrichtingen voor de Gelderse Poort, die de natuur van deze hotspot ten goede moeten komen, in samenhang met een effectiever rivierbeheer. Uitgangspunt voor de PAGW is het starten vanuit gedegen systeembenadering. Dat wil zeggen dat maatregelen goed dienen te passen bij de kenmerken van het betreffende riviertraject. Op deze manier kan gewerkt worden aan een hoogwaardiger natuurlijk systeem, maar tegelijkertijd biedt het een werkwijze om de natuurdoelen van Natura 2000 duurzaam te realiseren. Door het lokale rivier- en ecosysteem als uitgangspunt te nemen, ontstaan ook maatregelen die duurzamer van karakter zijn.

Om te komen tot een robuust en toekomstbestendig riviersysteem is begrip van het rivier- en ecosysteem en het landschapsecologisch functioneren ervan cruciaal. Dat zegt immers veel over de natuur die daarbij past, en welke onderliggende processen en randvoorwaarden nog aanwezig zijn en in hoeverre deze processen benut kunnen worden voor verder ecologisch herstel. Daarom moet de voorliggende systeemanalyse een onderlegger gaan vormen van alle andere producten die in het traject van deze preverkenning (en daarna) zullen worden opgesteld.

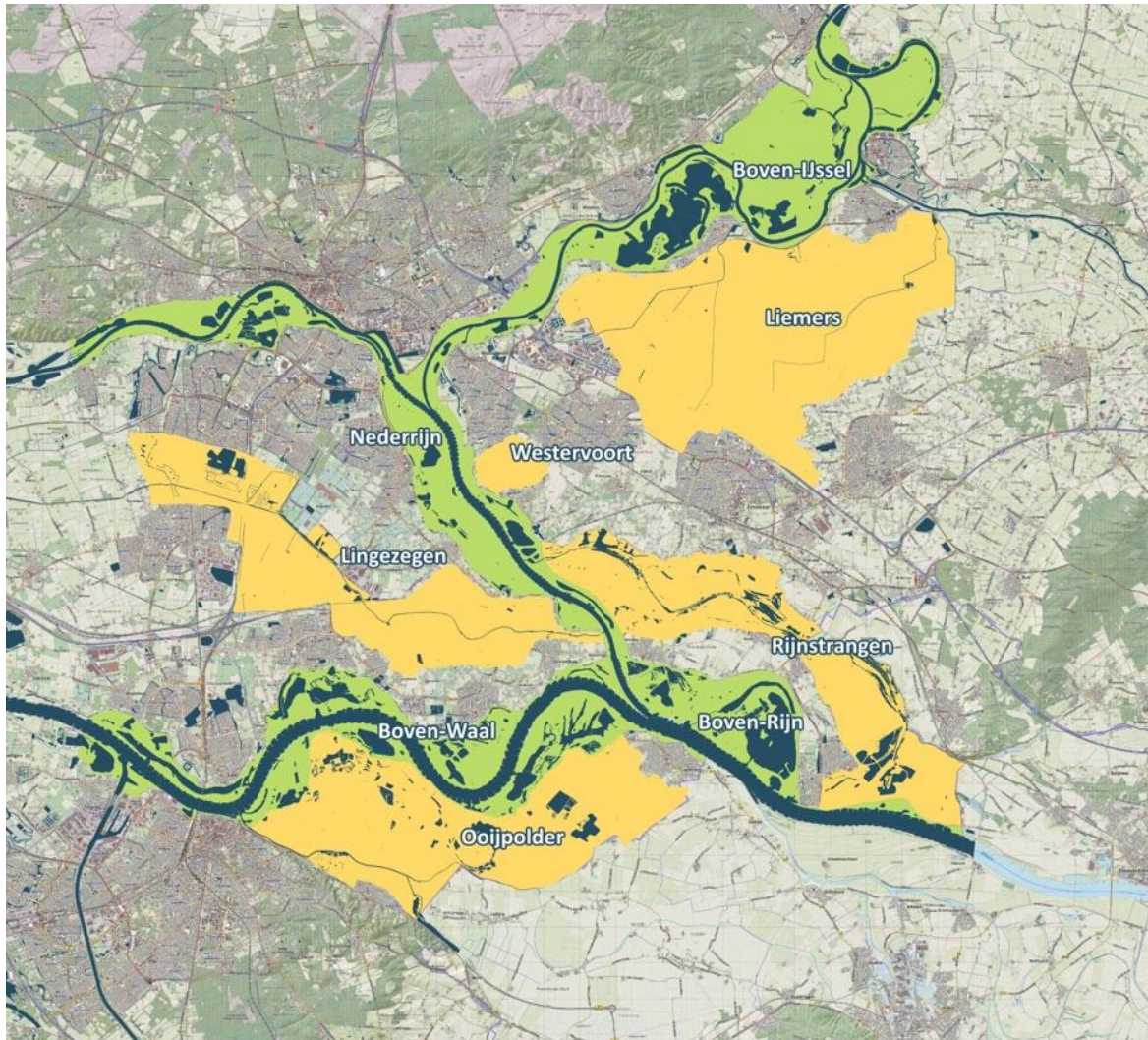
Leeswijzer

In deze studie beschrijven we het rivier- en uiterwaardensysteem van de Gelderse Poort, incl. enkele inmiddels binnendijs gelegen gebieden. Na het inleidende hoofdstuk gaan we in het tweede hoofdstuk in op de turbulente ontstaansgeschiedenis, waarmee de fysieke basis werd gelegd voor de rivierdynamiek. In het derde hoofdstuk volgt in 6 stappen hoe deze dynamiek in de afgelopen eeuwen gaandeweg aan banden is gelegd en hoe de Gelderse Poort werd tot het gebied wat het nu is. Het hoofdstuk daarna beschrijft de 6 karakteristieke processen binnen de Gelderse Poort, hoe ze nu functioneren en hoe ze op elkaar inwerken. In het voorlaatste hoofdstuk komt de biotische component aan de orde, waaronder de plek die riviergebonden ecotopen innemen in het gebied. Het laatste hoofdstuk geeft een overzicht van de leidende principes als handreiking voor het vervolgproces.

Gebiedsafbakening

Deze systeemanalyse heeft betrekking op het gebied waar de Boven-Rijn zich verdeelt over drie riviertakken: Waal, IJssel en de Neder-Rijn; ook wel bekend onder de naam Gelderse Poort (zie figuur 1.2). Aan de oostkant vormt de landsgrens met Duitsland de begrenzing. Langs de Waal loopt het

projectgebied door tot net voorbij Nijmegen, langs de Neder-Rijn tot aan de stuw van Driel en langs de IJssel tot aan Dieren. In de beschrijvingen is voor wat het buitendijkse gebied betreft uitgegaan van deze drie riviertrajecten. Het Pannerdensch Kanaal wordt in deze studie meegenomen bij de Neder-Rijn en de Boven-Rijn bij de Waal. De binnendijkse gebieden worden afzonderlijk beschreven, waarbij de grenzen worden gevormd door de begrenzing van het historische, onbedijkte rivierenlandschap. In de Betuwe is de grens gelegd langs de lijn Driel-Weurt.



Figuur 1.2. Gebiedsafbakening van deze systeemanalyse. In lichtgroen de buitendijkse gebieden, in oker de binnendijkse.

De focus in de beschrijving van de binnendijkse gebieden ligt vooral op het niet verstedelijkte gebied. De onderscheiden deelgebieden zijn:

- Buitendijks:
 - Boven-Rijn en Waal
 - Pannerdensch Kanaal en Neder-Rijn
 - Boven-IJssel
- Binnendijks:
 - Rijnstrangen (= voormalige riviergordel)
 - Ooijpolder (= komgebied)
 - Lingezegen (= komgebied)
 - Duivense en Zevenaarse broek (= komgebied)

Werkwijze

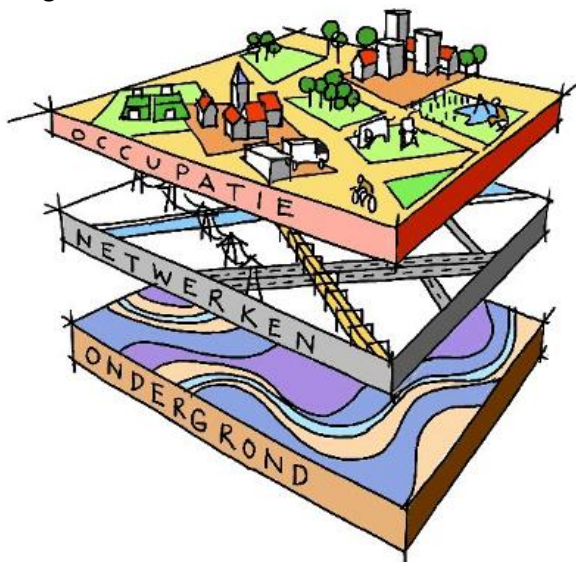
De PAGW kent twee belangrijke pijlers die elkaar in de tijd opvolgen (zie Natuurverkenning Grote Rivieren van LNV¹ en daarop voortbouwend de Ecologische Systeemopgave PAGW-Rivieren²):

- Starten vanuit een systeembenadering, waarbij werken vanuit het 'DNA van de Rivier' (werkwijze Smart Rivers³) uitgangspunt vormt. Dat betekent dat maatregelen zoveel mogelijk aansluiten bij de systeemkenmerken van het betreffende riviertraject en gebied (abiotische ondergrond, geo(morfo)logie, (grond)watersysteem, bijpassende biotiek, incl. structurele systeemveranderingen door menselijk handelen etc.). PAGW start dus vanuit de onderste laag van de lagenbenadering (zie hierna).
- Mede vanuit de systeemanalyse ontwikkelen van meer habitatgeschiktheid, grotere gebieden, een beter ecologisch netwerk en meer mogelijkheden voor kenmerkende soorten (River-Sixsoorten als inspiratiesoorten). Dit vormt dan tevens de bijdrage van PAGW aan de doelstellingen van Natura 2000 en KRW.

De lagenbenadering is een hulpmiddel voor het inventariseren en analyseren van gebieden als onderdeel van plan- en gebiedsontwikkeling. Gelijktijdig geeft het concept ook richting aan landschappelijke ontwerpen, aan (gebieds)visies en helpt het (beleids)keuzen te onderbouwen.

De lagenbenadering legt de ruimte uiteen in drie lagen. De eerste laag bestaat uit de fysieke ondergrond, het geheel van processen, patronen en structuren, in de (deel)systemen van water en bodem. De volgende laag bevat netwerken van infrastructuur met onder meer wegen, spoorlijnen en waterwegen. Tot slot de occupatielaag van het (grond)gebruik met de menselijke activiteiten zoals wonen, werken en recreëren en de fysieke neerslag daarvan.

Deze systeemanalyse gaat in eerste aanleg over de onderste laag: de laag van het landschap, de abiotiek, bijpassende biotiek en de processen die daarin actief zijn. Aan de hand van deze systeemanalyse kan dan in de volgende fase, de preverkenning PAGW, het pakket van maatregelen en oplossingsrichtingen voor de Gelderse Poort worden uitgewerkt, die de natuur van deze hotspot ten goede moeten komen.



Figuur 1.3. Lagenbenadering (bron: www.ruimtexmilieu.nl)

¹ <https://docplayer.nl/52297109-Natuurverkenning-grote-rivieren-veerkrachtig-ecosysteem-voor-de-grote-rivieren.html>

² https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_632626_31/

³ <https://www.smartrivers.nl/inrichtingsconcepten-en-dna/>

2. Ontstaansgeschiedenis (genese van het gebied)

In dit hoofdstuk lopen we eerst in grote en vervolgens in langzaam kleinere stappen door de tijd en staan we stil bij de ontstaansgeschiedenis van het huidige landschap van de Gelderse Poort en beschrijven we de processen die de patronen in dat landschap hebben veroorzaakt.

2.1 Millennia lang mondingsgebied van rivieren

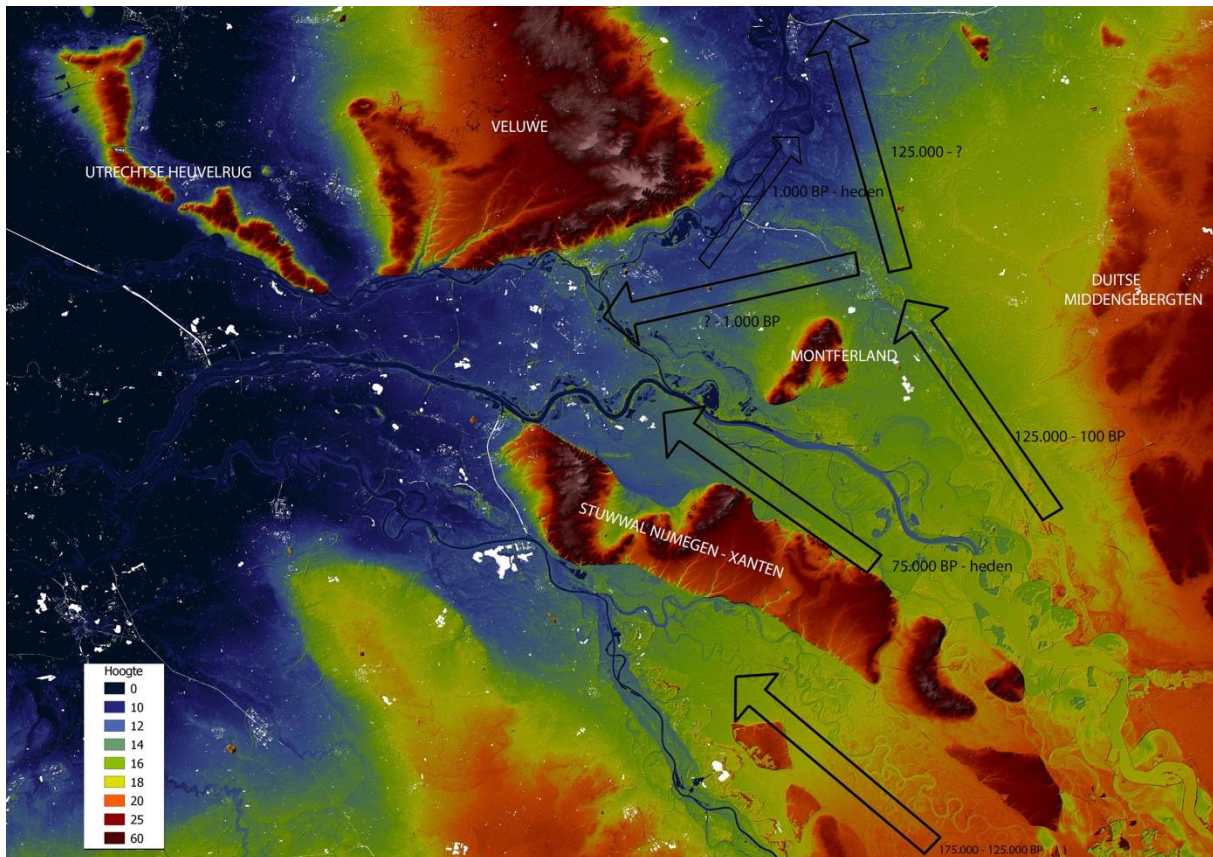
Nederland is al miljoenen jaren het mondingsgebied van de Rijn en de Maas en vanuit hun brongebieden in Midden-Europa voeren deze rivieren water en sediment af naar het Nederlandse laagland. Omdat de bodem van Nederland - door geologische processen - langzaam daalde konden zich dikke lagen sediment in de bodem afzetten. Zo bevindt zich onder de Gelderse Poort een pakket zand en klei van 80 tot 100 m dik dat in ca. 2 miljoen jaar is afgezet. Deze diepe lagen spelen onder andere een rol bij de doorvoer van grondwater. Daaronder bevinden zich nog meer dikke zand- en kleilagen, afgezet in een marien milieu, uit de tijd dat de Noordzee zich tot hier uitstrekte. Pas op een diepte van ca. 1 km ligt vast gesteente, kalksteen uit het krijttijdperk van ca. 70 miljoen jaar oud.

2.2 Ontstaan van de stuwwallen

Een belangrijke fase in de geschiedenis van Midden-Nederland, waarvan de sporen nog in het huidige landschap zijn terug te vinden, is het binnenstromen van gletsjers tijdens de ijstijd van het Saaliën. In de geologische kaart (zie figuur 2.3) zijn deze roze gekleurd. Een ca. 200 m dikke ijsmassa afkomstig uit de Noorse bergen stroomde tussen 238.000 en 126.000 jaar geleden veel verder zuidwaarts dan bij eerdere ijstijden en kwam tijdens de maximale uitbreiding, ca. 140.000 jaar geleden, in Midden-Nederland tot stilstand. De uit zand en klei opgebouwde ondergrond, die in het koude klimaat van die tijd bevroren was, werd door de druk van de voortschuivende gletsjers vervormd en weggedrukt. Onder de gletsjertongen ontstonden diepe, brede dalen en langs de zijkanten en aan de uiteinden van het ijs bleven op veel plaatsen stuwwallen liggen als langgerekte heuvelruggen.

De stuwwallen zijn nog markant in het landschap aanwezig en vormen aan drie kanten de buitengrens van de Gelderse Poort. Voor de bedijking raakte het winterbed en soms ook het zomerbed vaak tot aan de stuwwallen. Door bedijking vanaf de Middeleeuwen tot in de 20^e eeuw zijn veel stuwwallen buiten bereik van het rivierwater gekomen, m.u.v. korte trajecten bij de binnensteden van Arnhem en Nijmegen (zomerbed), langs de Neder-Rijn in het traject van Arnhem tot Heveadorp (winterbed) en langs de IJssel stroomafwaarts van Dieren. In figuur 2.1 is in een hoogtekarta van de Gelderse Poort en omgeving de maximale verbreiding van het gletsjerijs weergegeven (Berendsen, 1966)⁴. Het ijs stroomde vanuit het noorden uit door het huidige IJssedal en kwam tot aan het Rijk van Nijmegen. In de noordflank van de stuwwal van Nijmegen zijn de vormen van het uiteinde van de gletsjers nog goed te zien (zie figuur 2.1). Ten westen van Nijmegen ontbreekt de eindmorene en niet duidelijk is of deze er nooit heeft gelegen of later is opgeruimd door de rivier. Aan de oostzijde van de Gelderse Poort is de situatie anders. Hier waren de stuwwallen van Montferland en Kleve wel met elkaar verbonden. De Rijn stroomde tijdens deze ijstijd via het huidige Niersdal langs de zuidflank van de eindmorene van het Rijk van Nijmegen (zie figuur 2) en vloeide ter hoogte van het huidige Cuijk samen met de Maas.

⁴ De vorming van het land. Berendsen, 1996.



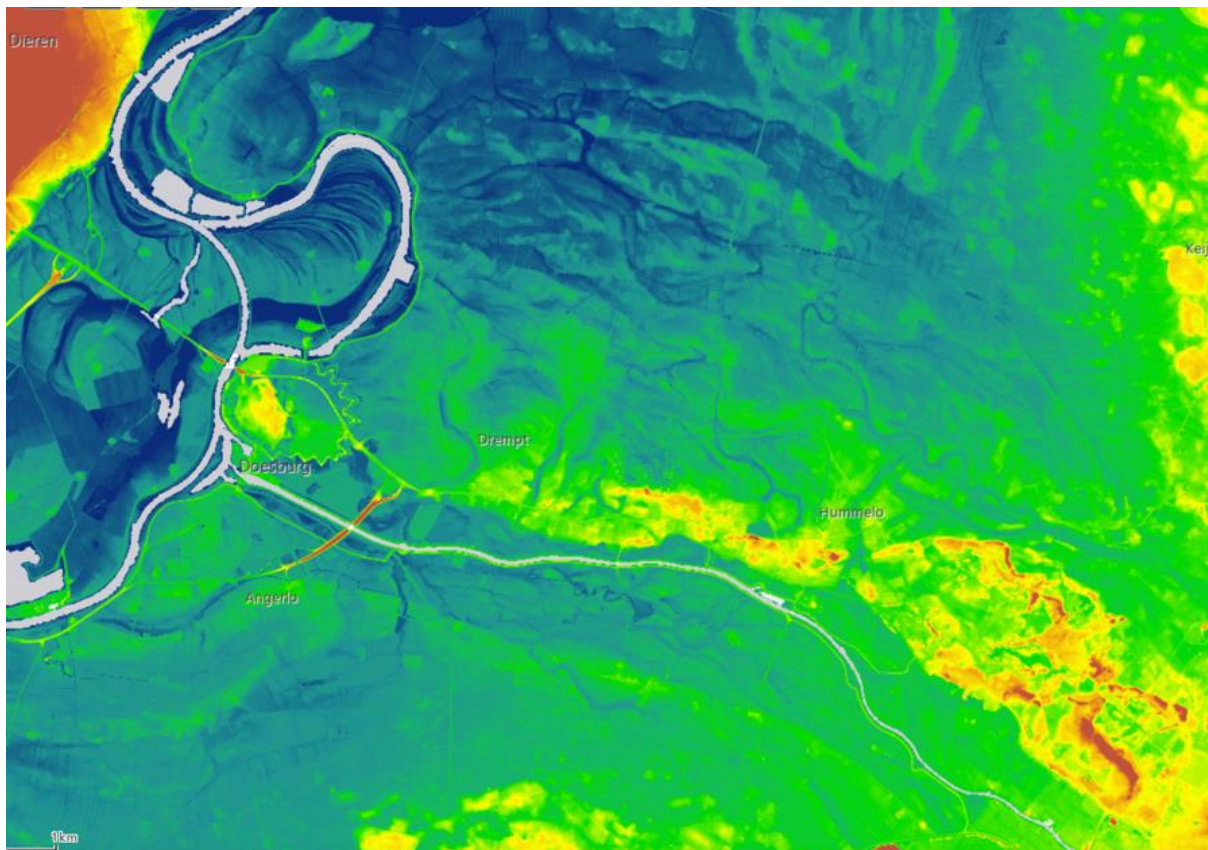
Figuur 2.1. Hoogtekaart van de Gelderse Poort met als hoogste delen de stuwwallen gevormd door het ijs, waar de Rijn zich steeds een weg tussendoor heeft gebaand. De pijlen geven de route aan die de Rijn volgde gedurende bepaalde perioden. Toelichting zie verder in de tekst.

2.3 De Rijn baant zich een weg

Na de ijstijd in het Saaliën werd het rond 125.000 jaar geleden warmer en smolt het ijs weg. Het vermoeden bestaat dat zich tijdens dit smeltproces een smeltwatermeer heeft gevormd ten oosten van de stuwwal die Montferland en het Rijk van Nijmegen verbond. Gedurende enig moment is dit water door deze stuwwal heen gebroken waarbij een brede opening ontstond; de Gelderse Poort was geboren. Toen de Rijn korte tijd later ter hoogte van Moers in Duitsland zijn loop verlegde van het Niersdal naar het huidige Rijndal, koos de rivier echter niet direct voor dit doorbraakdal. De plaats waar de gletsjer gelegen had (ten noorden van Montferland), was aanvankelijk namelijk veel dieper en de Rijn stroomde daardoor ten oosten van het Montferland langs in noordwestelijke richting. De Rijn heeft dit traject ruim 50.000 jaar gebruikt (Berendsen, 1996), tot in de volgende en laatste ijstijd (het Weichseliën) die rond 115.000 jaar aanbrak en duurde tot ca 11.700 jaar geleden. Ondertussen vulde de Rijn dit dal gaandeweg op met zand en grind en mogelijk dat al in die tijd ook een verbinding ontstond bovenlangs het Montferland in zuidwestelijke richting naar het huidige Rijndal. In dit laatste traject liep de historische Rijn dus tegengesteld aan de huidige stroomrichting van de IJssel op die plaats. De Maas lag gedurende de beide ijstijden en de periode daarna ongeveer op de plaats van haar huidige loop.

Rond 75.000 jaar geleden raakte de verbinding naar het noorden via het huidige IJsseldal geblokkeerd en werd de loop bovenlangs het Montferland, en vanaf daar naar het huidige stroomgebied, de hoofdloop van de Rijn. Niet lang daarna overstroomde de Rijn ook het al eerder doorgebroken restant van de stuwwal tussen Montferland en het Rijk van Nijmegen en kwam daarmee op de plaats te liggen waar hij nu nog ligt (Berendsen, 1996). Mogelijk is er nog wel enige tijd sprake geweest van twee lopen, want ook de Rijntak ten oosten en noorden van het

Montferland, is nog lang actief gebleven. In het landschap tussen Doetinchem en Doesburg zijn daarvan tal van verlaten beddingen en oeverwallen herkenbaar (zie figuur 2.2) en de huidige Oude IJssel volgt dit voormalige dal van de Rijn. Als het traject van de huidige Duitse Niederrhein tussen Rees en Emmerich niet zou zijn bedijkt, dan zou een deel van het Rijnwater ook nu nog vanaf een afvoer van ca 5.000 m³/s, d.w.z. ca 10 dagen per jaar, via dit traject naar de huidige IJssel afstromen. De Boven-IJssel met de aangrenzende uiterwaarden en het binnendijkse gebied van de Duivense en Zevenaarse Broek zijn sterk beïnvloed door de manier waarop de Rijn het gebied ten noorden van Montferland heeft gebruikt en het verklaart ook de verschillen met de andere riviertrajecten in de Gelderse Poort (zie figuur 2.2).

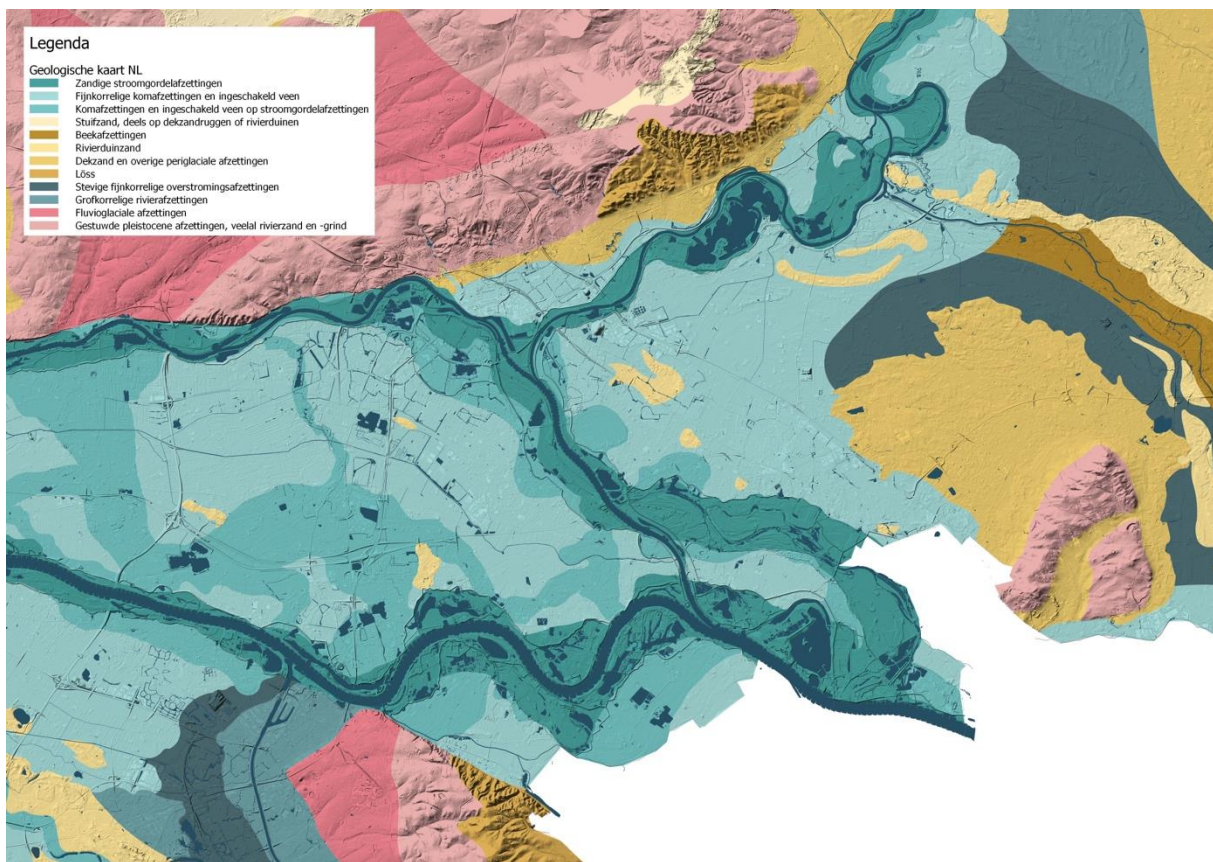


Figuur 2.2. Tal van historische geulen markeren de voormalige loop van de Rijn ten noorden van het Montferland langs. Een deel ervan ligt ten noorden van de rivierduinen tussen Doetinchem en Doesburg en een deel ligt zuidelijk. Dit laatste traject zou tot in de recente tijd actief blijven en is medebepalend voor het karakter van de Boven-IJssel en bijvoorbeeld de Havikerwaard.

Vanaf de tweede helft van de laatste grote ijstijd stroomde de Rijn steeds via het gebied van de Gelderse Poort. De rivierafvoeren in het koude klimaat varieerden sterk en de bedding had een vlechtend karakter. De aanvoer van grof sediment was aanzienlijk en de Rijn zette dikke lagen zand en grind af in de vlakte tussen de stuwwallen. Dit laagpakket (de zgn. formatie van Kreftenheye) is overal in het gebied aanwezig en varieert in dikte van 10 tot 20 meter. In het oosten, ten zuiden van Montferland en naar het noorden in het huidige IJsseldal loopt de dikte op tot 50 m (zie de dwarsprofielen in bijlage 1). Op sommige plaatsen ligt deze laag in de Gelderse Poort (bijna) aan de oppervlakte en meestal niet veel dieper dan 2 m. De bodem van de huidige rivierbeddingen liggen dan ook geheel in deze zandige laag. De doorlatendheid van het grove, grindrijke zand is erg goed en het is daarom een belangrijke aquifer voor het grondwater dat er vooral vanaf de omliggende stuwwallen instroomt. Deze dikke zandlaag is, zowel binnen- als buitendijks ook de bron van delfstof voor de zandwinning. Tijdens de laatste ijstijd was het klimaat vaak erg droog en kende het landschap nauwelijks vegetatie. Hierdoor konden zandstormen optreden, die vooral buiten het

rivierengebied (o.a. in Noord-Brabant en het oosten van Gelderland) uitgestrekte vlakten van dekzanden vormden met daarin langgerekte ruggen (oker gekleurd op de geologische kaart, figuur 2.3). De rand van dit plateau vormt nu ter hoogte van de lijn Beek-Didam een deel van de begrenzing van de Gelderse Poort. Ook binnen het rivierengebied bracht de wind lokaal veel zand in beweging, waardoor er langgerekte rivierduinen ontstonden (geel op de geologische kaart, figuur 4). Deze liggen o.a. nabij Bergharen, Persingen, Bemmelen, Valburg, Persingen, Duiven, Angerlo en Doesburg. Enkele duinen zijn zelfs tot 20 m hoog en goed herkenbaar in het landschap.

Het duin waar Doesburg op ligt, vormde de noordelijke begrenzing van de oude Rijnloop rondom het Montferland en heeft, voordat de IJssel in de recente tijd ontstond, nog verder doorgelopen en sloot aan op de Veluwe aan de overzijde van het huidige IJsseldal. Het was zeer waarschijnlijk de barrière die de IJssel moest overbruggen toen deze in recentere tijden (ca. 950 n. Chr.) doorbrak naar het noorden (voor ontstaan IJssel zie verder H2.5).

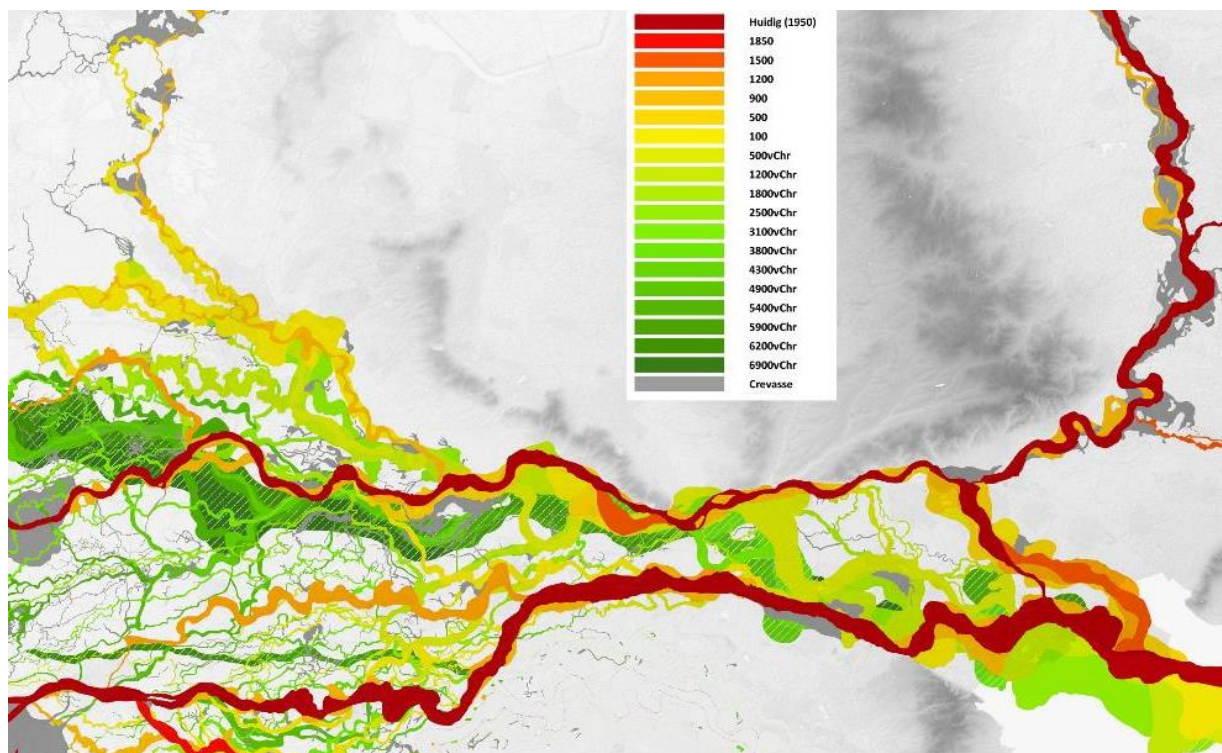


Figuur 2.3. Geologische kaart van de Gelderse Poort (Bron: Geologische Kaart Nederland).

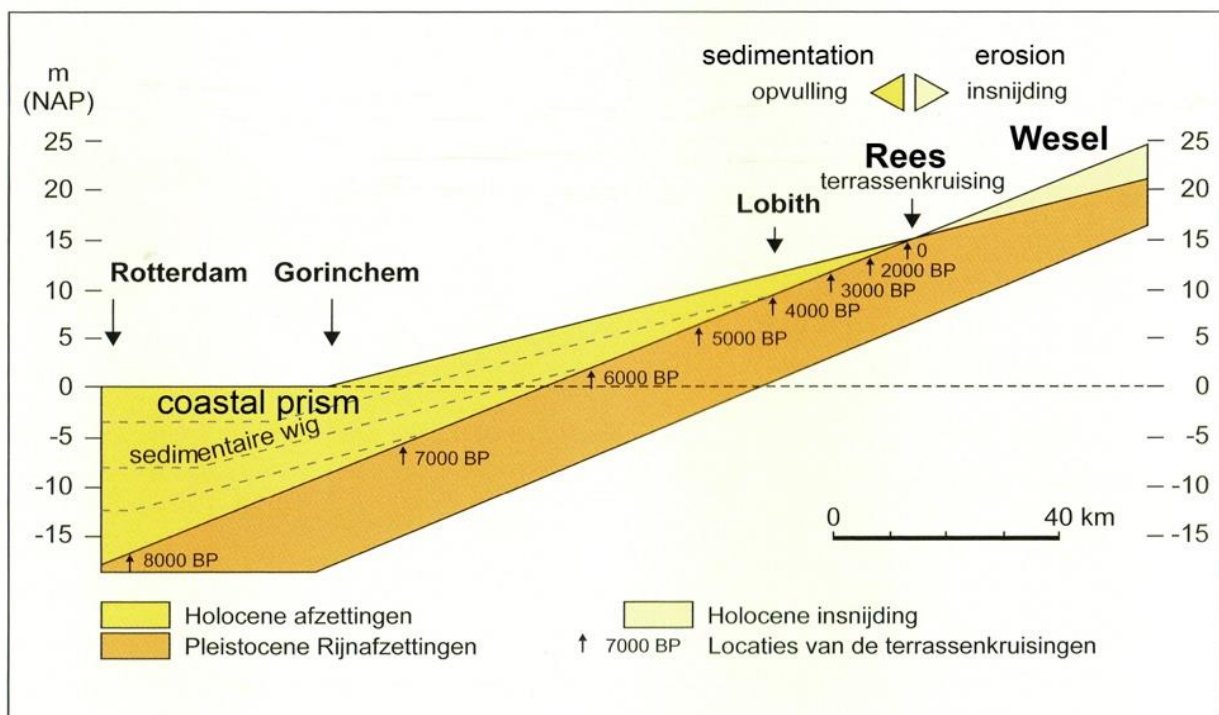
2.4 Ontstaan stroomgordels, oeverwallen en kommen

Na de laatste ijstijd - zo'n 11.500 jaar geleden – brak het huidige zachte klimaat aan. Het afvoerregime van de Rijn werd gelijkmatiger en de rivierbeddingen kregen een meanderende loop die min of meer op de huidige lijkt. In het oosten van Nederland sneed de Rijn zich eerst nog in, in de dikke zandlagen, die afgezet waren in de laatste ijstijd. In het westen, waar de rivier onder invloed kwam van de stijgende zeespiegel, legde de rivier vooral zand en klei neer en hoogde het landschap langzaam op. Daarbij verlegde de rivier haar loop talloze malen en van oost naar west neemt in de ondergrond het aantal oude stroomgordels dan ook sterk toe (zie figuur 2.4). De grens waar de rivier van eroderend overging in sedimenterend (de zgn. terrassenkruising) schoof in de loop der tijd langzaam oostwaarts en vanaf ongeveer 5000 jaar geleden kwam deze in de Gelderse Poort aan en begon ook hier de recente fase van netto sedimentatie. Inmiddels is de terrassenkruising verder

opgeschoven en ligt nu ter hoogte van Rees in Duitsland (zie figuur 2.5). Sinds de fase van sedimentatie begon is in de Gelderse Poort, buiten de actieve riviergordel, overal zo'n 1 tot 3 m voornamelijk klei afgezet boven op het grove zandpakket uit de ijstijd. In het westen van de Gelderse Poort is deze laag gemiddeld het dikst.



Figuur 2.4. Opeenvolging van stroomgordels van de Rijn van oud (donkergroen 7500 BP) naar jong (oranje en rood). (Bron: Berendsen, 2001).

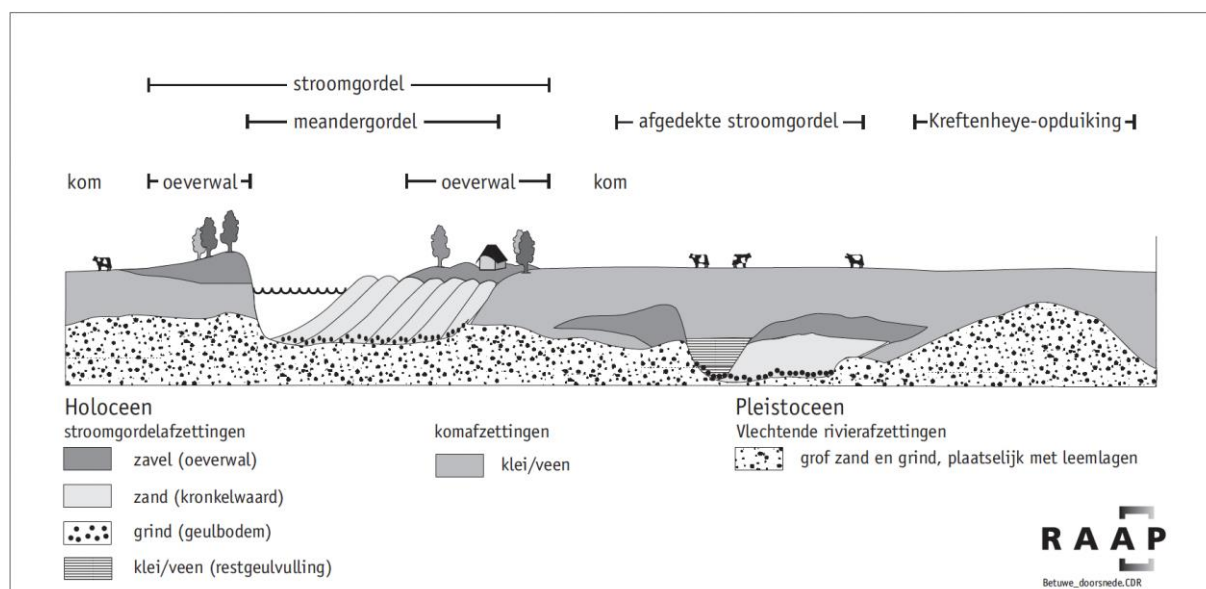


Figuur 2.5. Schematische weergave van het proces waarbij de terrassenkruising opschuift in stroomopwaartse richting als gevolg van de stijging van de zeespiegel (Bron: Jongmans, 2013).

Het sedimentatiepatroon van de laatste duizenden jaren in de Gelderse Poort is karakteristiek voor laaglandrivieren. Tijdens een periode van hoge waterstanden bezinkt het zand dat de rivier meevoert op de directe oevers, waar het water nog relatief snel stroomt. De klei wordt verder van de rivier afgezet, waar het water bijna stilvalt. De zandige afzettingen hoogden sneller op, waardoor het kenmerkende patroon ontstond van een stroomgordel bestaande uit drie soorten afzettingen naast elkaar:

1. beddingafzettingen, bestaande uit grof zand en grind in en direct langs de rivier,
2. oeverwallen in een zone van 1 tot 2 km breed naast de bedding, herkenbaar als een hoger gebied, bestaande uit fijn zand aan de basis en hogerop fijner materiaal tot lichte zavel aan de top
3. komgebieden verder van de rivier af, waar zich klei afzette in een relatief laag gebied

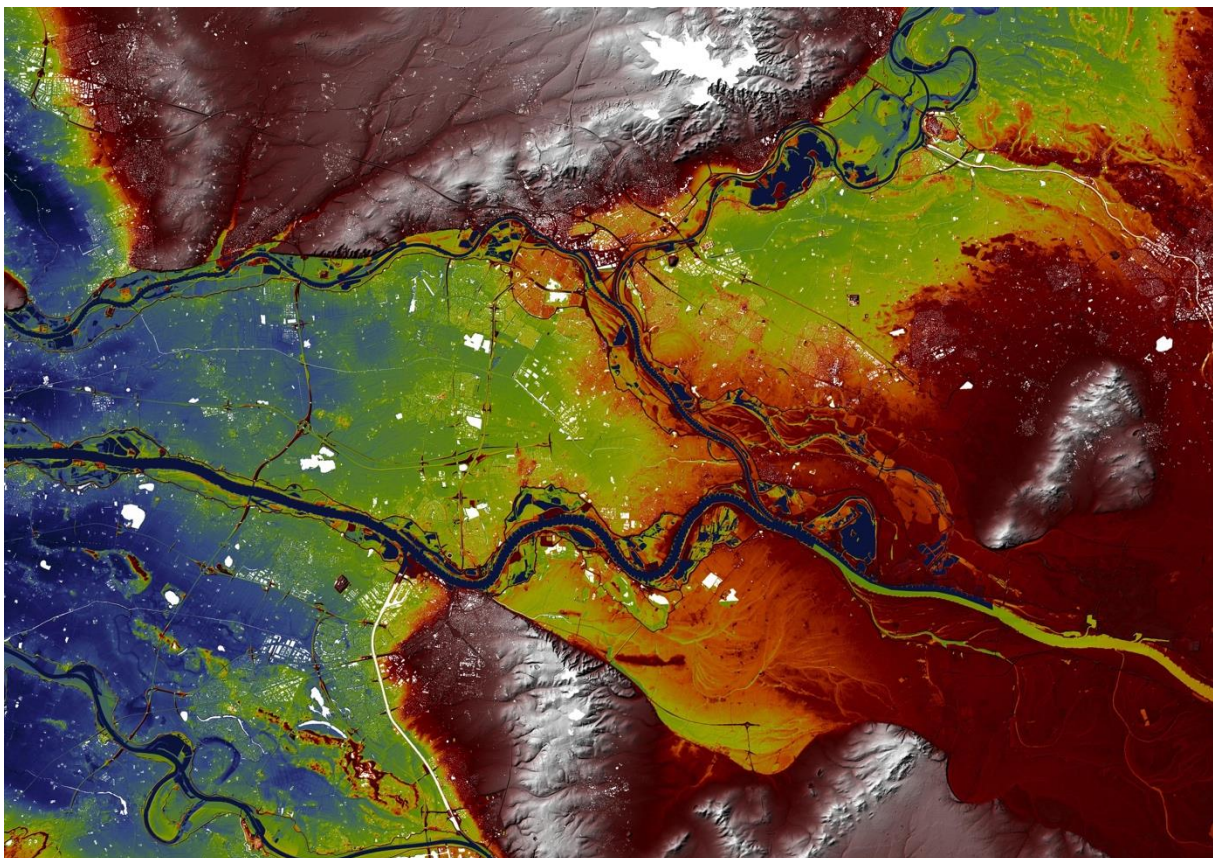
Wanneer hoge oeverwallen door de rivier tijdens hoogwater doorbroken worden, ontstaan doorbraakgeulen (oftewel crevasses) en vaak ook kolkvorming. Soms leidde zo'n doorbraak tot een zogenaamde avulsie, waarbij de hoofdloop van de rivier zich verplaatste naar de naastgelegen kom. De eerdere stroomgordel bleef vervolgens als een relict achter in het landschap. Tijdens hogere afvoeren stroomde deze verlaten loop aanvankelijk nog wel mee, maar door voortgaande sedimentatie zou hij uiteindelijk helemaal worden opgevuld en uiteindelijk begraven in de ondergrond (zie figuur 2.6). Dit proces van (bijna) doorbraken en loopverleggingen heeft de basis gevormd voor de huidige ondergrond van een groot deel van de Gelderse Poort, waarin de voormalige stroomgordels nog goed herkenbaar zijn (donkergroene structuren op de geologische kaart, fig. 2.4). In tegenstelling tot het westen van het rivierengebied waar ze veelal begraven zijn onder latere afzettingen, liggen de stroomgordels in de Gelderse Poort nog aan de oppervlakte. Langs de Boven-IJssel ontbreken historische stroomgordels omdat deze rivier sinds het ontstaan ruim 1000 jaar geleden een insnijdend karakter had en daarbij steeds op dezelfde plek heeft gestoomd. Dit traject is daarom ook geen laaglandrivier, maar een terrassenrivier (zie verder onder 'ontstaan IJssel').



Figuur 2.6. Impressie van een doorsnede door de stroomgordel van de huidige Neder-Rijn ter hoogte van Huissen, die een goed beeld geeft van de doorsnede door een stroomgordel en komgebied (bron: Raap, 2006).

Na een overstroming bleef het water vaak lang in de kommen staan en met name daar waar kommen rondom werden begrensd door hogere grond, waren ze altijd nat. Hier ontwikkelden zich moerasvegetaties en broekbossen, die na afsterven soms ook als veenlagen in de bodem achterbleven.

Een gedetailleerde hoogtekartaat van de Gelderse Poort (figuur 2.7) laat duidelijk zien hoe het complex van stroomgordels en kommen is ingeklemd tussen de 3 stuwwallen. De stroomgordel waar nu de huidige Neder-Rijn nog gebruik van maakt, buigt al direct ten zuiden van Montferland af naar het noordwesten en 'botst' vervolgens bij Arnhem tegen de Veluwe. Dit is het punt waar ruim 1000 jaar geleden de IJssel afsplitste. De historische oeverwallen van de Rijn (ontstaan in de tijd voor de bedijking) zijn duidelijk zichtbaar (oranje-bruin) en zijn beter ontwikkeld dan die van de Waal. Het laat zien dat de stroomgordel van de Rijn voorafgaand aan de bedijking veel langer actief is geweest dan de gordel van de huidige Waal. De gordel van de Waal is van recenter datum en relatief kort nadat dit de dominante rivier werd, alweer ingedijkt, waardoor sediment alleen dicht bij de rivier kon bezinken en de oeverwallen daar binnendijs lager en minder breed zijn. De komgebieden tussen de stroomgordels zijn veel lager en strekken zich aan weerszijden van de oeverwallen uit. Ten noorden van Montferland is het traject van de historische Rijn zichtbaar met prominent daarin de rivierduinen die van Doesburg naar het oosten lopen. Ooit strekte deze duinenrij zich verder uit naar het westen, maar daar is de IJssel uiteindelijk doorheen gebroken.

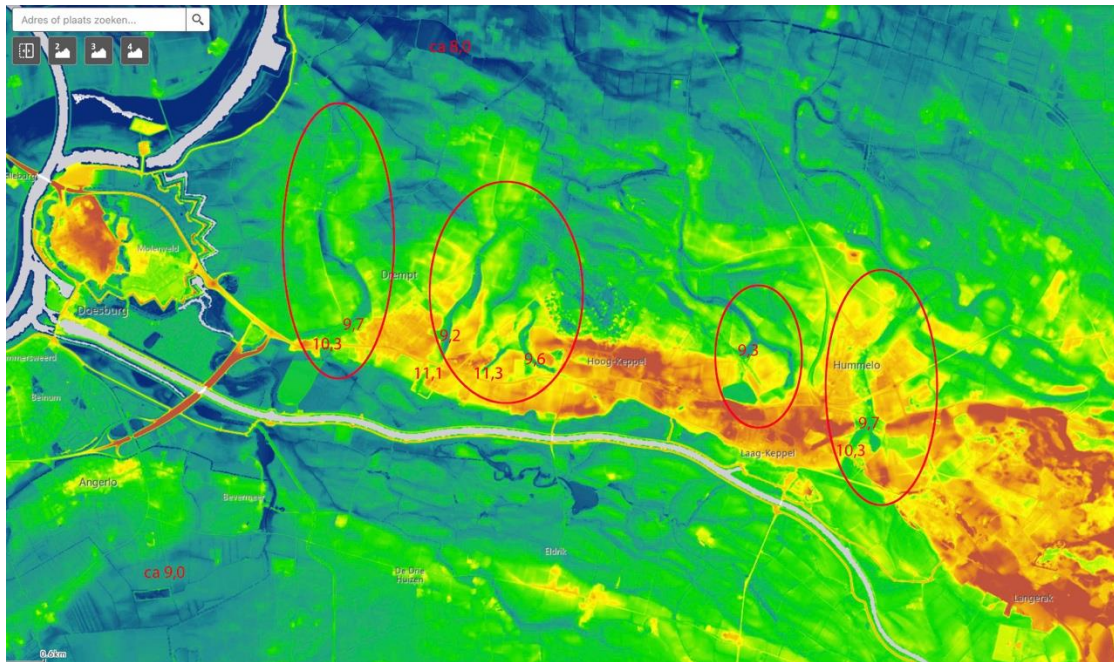


Figuur 2.7. Hoogtekartaat van het projectgebied waarin de historische opbouw goed zichtbaar is. Toelichting zie tekst.

2.5 Ontstaan van de IJssel

Gedurende de laatste ijstijd was de weg naar het noorden voor de Rijn via het huidige IJsseldal geblokkeerd geraakt. Aanvankelijk werd vermoed dat de barrière bij Zutphen lag en werd

veroorzaakt door een zandwaaiër vanuit de Berkel in het IJsseldal⁵, maar uit recent onderzoek is naar voren gekomen dat een rug van hoge rivierduinen bij Doesburg het dal blokkeerde⁶. In het tweede onderzoek lag de drempel zuidelijker en helde het dal ten noorden van deze blokkade in noordelijke richting en stroomde ook de Berkel vanaf Zutphen naar het noorden, vergelijkbaar met de huidige situatie. (NB Beide hypothesen waren eensgezind dat het dal tussen Doesburg en Arnhem naar het zuiden helde). De duinen die het dal blokkeerden zijn nu nog aanwezig ten oosten van Doesburg en lopen daar verder in het gehele historische Rijndal dat ten noorden van Montferland ligt (in figuur 2.8 is dit de donkerbruine zone ten oosten van Doesburg). Voorafgaand aan de doorbraak zouden deze duinen ook in westelijke richting hebben doorgelopen tot tegen de Veluwe en in de Havikerwaard zijn bij bodemonderzoek door Makaske et al. (2008) ook restanten aangetroffen.



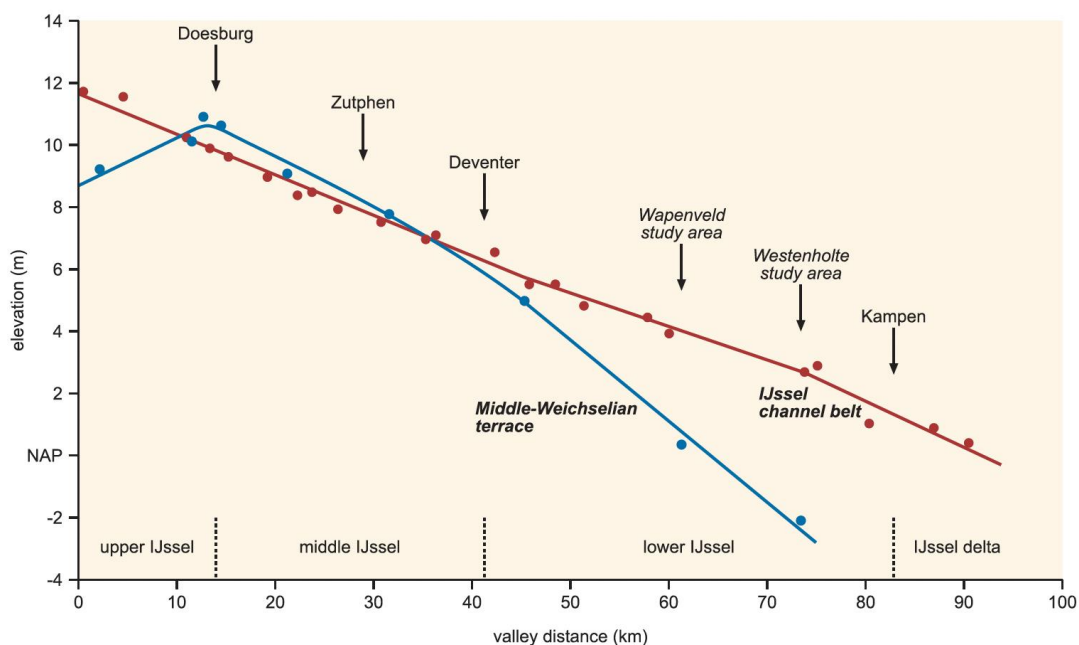
Figuur 2.8. Hoogtekaart van het rivierduin tussen Doetinchem en Doesburg met daarin aangegeven de locaties van enkele doorbraakdalen. De rode cijfers zijn de huidige hoogtes van de drempels en de diepere uitslijtkolken net na de drempel.

Een belangrijke aanwijzing in de hypothese van Makaske et al. (2008) voor het feit dat de blokkade nabij Doesburg lag zijn de vele doorbraakdalen die zich ten oosten van deze plaats in de duinenrij bevinden (zie figuur 2.8). Deze dalen zijn meters diep ingesneden in de duinenrij en moeten gevormd zijn door snelstromend water. Dit kan alleen zijn gebeurd tijdens een flink waterstandsverschil aan weerszijden van de duinen. Dit verschil moet ook van korte duur zijn geweest omdat deze dalen anders veel breder waren uitgesleten. Aan het begin van de dalen ligt steeds een drempel. De minimale hoogtes van de drempels vinden we bij Drempt en Hummelo; beide 10,3 m +NAP. Daar tussenin liggen hogere drempels van ca 11 m +NAP. Op korte afstand achter de drempel is de geul vaak al tot 1 m dieper (tussen 9,2 en 9,6 m +NAP), wat duidt op een uitspoelgat. Het maaiveld aan de noordzijde van de duinen ligt rond 8 m +NAP en ligt dus nog 1 tot 2 m lager dan de drempels en bodems in de geulen.

⁵ K.M. Cohen, E. Stouthamer, W.Z. Hoek, H.J.A. Berendsen & H.F.J. Kempen, 2009. *Zand in Banen - Zanddiepte kaarten van het Rivierengebied en het IJsseldal in de provincies Gelderland en Overijssel*. Arnhem: Provincie Gelderland.

⁶ Makaske, B.; Maas, G.J.; Smeerdijk, D.G. van, 2008. *The Age and Origin of the Gelderse IJssel*

De drempels in deze uitslijpgeulen zijn waarschijnlijk door mensen naderhand nog enigszins opgehoogd om een droge verbinding te maken tussen de duinen. Wanneer uit wordt gegaan van een drempel op ca 10 m hoogte dan betekent dit dat in het onbedijkte IJsseldal overstroming plaats zal hebben gevonden bij een Boven-Rijnafvoer van 7.000 m³/s (uitgaande van de Q/H-relatie van begin 20^e eeuw), wat tegenwoordig eens in de ca. 2 jaar voorkomt. Waterstanden en drempelhoogtes zullen ten tijde van het functioneren van deze geulen anders zijn geweest, maar duidelijk is wel dat de drempels binnen het bereik van de waterstanden van de Rijn lagen. Makaske et al. (2008) heeft aan de hand van de hoogte van de historische Rijnafzettingen de verhanglijn van voor de doorbraak gereconstrueerd (en deze vergeleken met de huidige verhanglijn van de IJssel (zie figuur 2.9). Het gebied tussen de rode en blauwe lijn links van Doesburg is in deze situatie opgevuld met sediment voorafgaand aan de doorbraak. Als de drempel bij Zutphen had gelegen en het dal vanaf daar naar het zuiden zou hebben afgewaterd, dan had de blauwe lijn vanaf daar al omlaag naar links moeten lopen. Dat zou betekenen dat het dal van de historische Rijn nabij Arnhem op ca 5 m +NAP moet hebben gelegen; wat ca 4 tot 5 m lager is dan de huidige situatie en dat er hier sindsdien 6 tot 7 m sedimentatie moet hebben plaatsgevonden om het verschil tussen de rode en de lagere blauwe lijn te overbruggen. Uit bodemgegevens van dit traject (Makaske et al., 2008) blijkt dat hier geen sprake is van een zo dik sedimentdek.



Figuur 2.9. Oorspronkelijke verhanglijn door het IJsseldal gebaseerd op de hoogte van historische Rijnafzettingen (blauwe lijn) vergeleken met de huidige verhanglijn van de IJssel (rode lijn).

Uitgaande van de blokkade ter hoogte van Doesburg liep het oorspronkelijke verhang in het traject tot aan Arnhem dus af van noord naar zuid (de blauwe lijn in figuur 2.9) en hier zal al een voorloper van de huidige IJssel hebben gestroomd. Bij hoge Rijnafvoeren stroomde vanaf Emmerich een deel van het Rijnwater ook noordelijk van Montferland langs, waardoor deze voorloper plotseling sterk in omvang zal zijn toegenomen. In dit uitgestrekte gebied ten zuiden van de duinenrij is in de loop der tijd veel sediment bezonken, het meest direct vanuit de Neder-Rijn, soms aangevuld door materiaal dat de Rijn bovenlangs van Montferland aanvoerde. In het zuiden nabij Velp was het voormalige dal aanvankelijk het diepst en werd de kleilaag het dikst, om naar het noorden, in de richting van de drempel, steeds dunner te worden. Dit zorgde ervoor dat ook de waterstanden bij hoge afvoeren aan de voet van de duinenrij steeds hoger werden, waardoor het overstromen van de duinenrij gaandeweg steeds vaker zal hebben plaatsgevonden. Makaske et al. (2008) schrijft hierover dat het om een traag verlopende avulsie zal zijn gegaan. Uiteindelijk is er een moment geweest dat een van de uitslijpdalen zo breed was geworden dat zich voor het eerst een permanente stroom zal hebben

gevormd. Gilbert Maas (mond. med.) vermoedt dat de Dieterensche Hank mogelijk een diep uitgesleten restant van de doorbraakgeul is op deze plaats.

Makaske et al. (2008) toont aan de hand van booronderzoek nabij Wapenveld en Westenholte aan dat de definitieve doorbraak ongeveer rond 950 AD moet hebben plaatsgevonden. Dit blijkt uit de ouderdom van de laatste veenafzettingen in het dal, voordat deze met klei werden bedekt. Dit betekent dat de IJssel nu ruim 1000 jaar oud is. Stroomopwaarts van Doesburg zijn eerder vergelijkbare overgangen van veen naar klei onderzocht en daar begint de afzetting van klei zo'n 500 jaar eerder. Hierbij gaat het echter om afzettingen van De Rijn in de fase dat zich aan de zuidkant van de blokkade veel klei afzette. Omdat het meest zuidelijke deel van de Boven IJssel meer ophoogde, kwam het maaiveld gaandeweg steeds vlakker kwam te liggen en verdween ook het verhang tussen Arnhem en Doesburg. Ook het eerste deel van het dal tot aan Zutphen was relatief breed, dat nauwelijks afwaterde. Het zal daarom een moerassig gebied zijn geweest. Stroomafwaarts van Zutphen was er wel het water van de Berkel, die voldoende groot was om een bedding te vormen.

In het huidige IJsseldal zien we de ontwikkelingsgeschiedenis van deze relatief jonge rivier nog goed terug. Het gaat om een bijzonder dal dat sterk afwijkt van de andere Rijntakken. In grote lijnen zijn er binnen het IJsseldal ook weer 3 verschillende deeltrajecten te onderscheiden, waarvan er een geheel en de tweede deels in de Gelderse Poort ligt:

1. Stroomopwaarts van de voormalige drempel bij Doesburg

Hier vulde het dal aanvankelijk nog op en lag het heel erg vlak; pas na verloop van tijd ging de rivier zich hier insnijden, maar de daling bleef beperkt. In dit traject ontwikkelde de nieuwe rivier zich als een loop met de eigenschappen van een stroomgordel. Omdat het water nu door kon stromen, werd ook zand aangevoerd en bij hoogwater zette dit zich af op de oevers, zodat oeverwallen konden. Deze zijn in het traject tot aan Doesburg op beide oevers van de rivier te vinden. Het huidige Duivense en Zevenaarse Broek, oorspronkelijk een deel van de dalvlakte van de Rijn die rondom Montferland liep, ontwikkelde zich daarbij gaandeweg tot een kom van de Boven-IJssel. De IJssel in dit traject, met z'n oeverwal en kom, lijkt hier dus op een van de recente Rijnlopen in de Betuwe. De meanders die de rivier vanaf Rheden had zijn waarschijnlijk al kort na de doorbraak van de IJssel ontstaan (zie verder onder 2 hoe dit proces verliep).

2. Stroomafwaarts van Doesburg tot aan Zutphen.

Hier liep de rivier, direct nadat deze was doorgebroken, door een breed, relatief vlak gebied waar, op enkele historische lopen van de Rijn na, geen actieve beddingen aanwezig waren. Een kenmerk van de eerste fase van rivierontwikkeling in een dergelijk vlak gebied is dat de bedding grote meanders vormt. Deze meanders waren ook na het ontstaan morfologisch niet erg actief, waardoor er o.a. geen sporen van een kronkelwaard zichtbaar zijn. Dit kan verklaard worden uit het feit dat de IJssel in deze beginfase nog niet veel water getrokken zal hebben. Mogelijk viel de IJssel de eerste tijd zelfs nog periodiek stil omdat de aanvoer vooral bepaald werd door de waterstand in de Neder-Rijn.

Uiteindelijk zou de steeds verder in omvang toenemende IJssel deze eerstgevormde meanders weer verlaten. Dit hing samen met het insnijden van de bedding in het meer centrale deel van het dal als gevolg van een front van terugschrijdende erosie dat vanaf Zutphen opschoof in zuidelijke richting (het traject in figuur 2.9 vanaf het punt waar de rode lijn lager is komen te liggen dan de blauwe). De brede meanders uit de beginfase werden daarop door de IJssel verlaten, maar de restanten ervan zijn langs de flanken van het dal nog wel aanwezig; o.a. bij Rha en Baak. In het noordelijke deel van de Havikerwaard zijn ook enkele meanders zichtbaar in de ondergrond, die mogelijk uit deze fase stammen.

De nieuwe bedding zou op enkele plaatsen ook weer gaan meanderen, maar nu waren het actieve meanders die schoksgewijs steeds ruimer werden en daarbij in hun binnenbocht kronkelwaarden vormden. Voorbeelden hiervan zijn de meander van Cortenoever en, binnen het projectgebied van de Gelderse Poort, de Fraterwaard (zie figuur 2.13). Het opvallende aan de Fraterwaard is dat deze vrijwel precies ter hoogte van de voormalige drempel en duinenrij ligt en

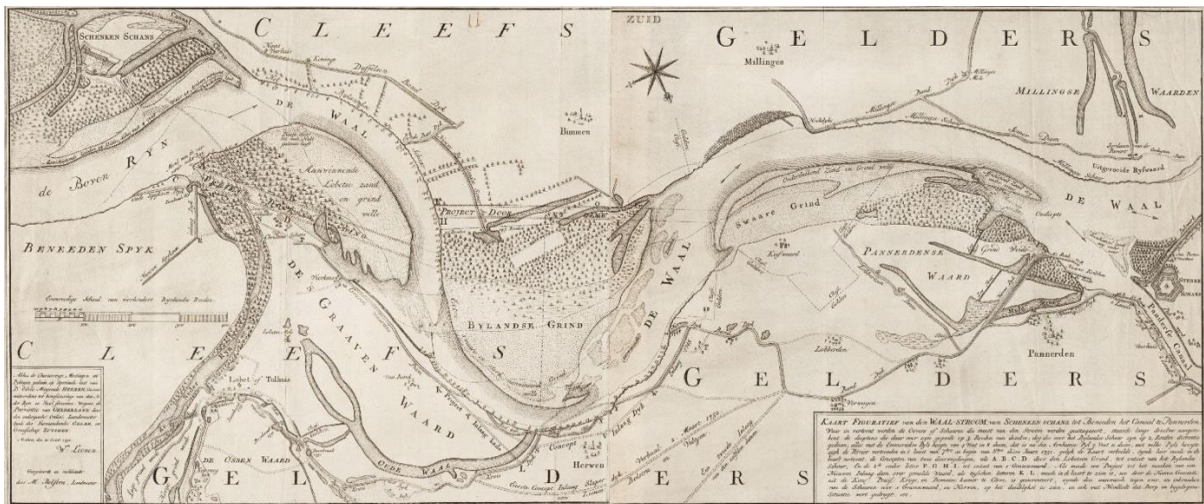
vanwege de nabijheid van zand in de ondergrond kon hier een actieve meander ontstaan. Als er een dikke kleilaag had gelegen was dit proces minder makkelijk verlopen, zoals bijvoorbeeld bij de meanders stroomopwaarts van Doesburg, die zich ook niet hebben ontwikkeld tot een kronkelwaard.

3. Stroomafwaarts van Zutphen was al wel de bedding van de Berkel aanwezig en waarschijnlijk heeft het Rijnwater deze loop gebruikt toen de afvoer vanuit het zuiden toenam. De bedding werd ruimer en sneed zich in de ondergrond in. In stroomopwaartse richting leidde dat na enige tijd tot terugschrijdende erosie. Het materiaal dat bij deze erosie beschikbaar kwam, aangevuld met materiaal dat de Rijn zelf aanvoerde, werd stroomafwaarts gevoerd en bij hoogwater op de oevers afgezet, waardoor het historische dal hier metershoog werd aangevuld en zich aan weerszijden van de rivier oeverwallen vormden. In figuur 2.9 is dit het traject waar de rode lijn gaandeweg uitsteeg boven de blauwe lijn.

2.6 Splitsingspunten, gevolg van en effecten op morfodynamiek

Een van de bijzondere aspecten van de Gelderse Poort zijn de splitsingen in de rivierlopen. Het is een van de kenmerken van een rivier op de overgang van het eroderende naar het sedimenterende traject. Vanaf bovenstrooms voert de rivier vanuit het eroderende traject relatief veel sediment aan, waarvan de klei, zoals we hierboven al zagen, in de luwere kommen wordt afgezet, maar het grovere materiaal, zich ophoopt in de bedding van de rivier. Onder andere vanwege de door de gletsjers tot dicht onder het maaiveld opgestuwde oudere lagen in de ondergrond werd vanuit het traject van de Niederrhein ook veel grind aangevoerd. Ter hoogte van de Gelderse Poort was de stroming onvoldoende om dat meteen door te voeren. Hierdoor ontstonden er (grind)eilanden in de rivier waar de bedding zich aan weerszijden een weg omheen moest zoeken, wat er uiteindelijk toe kan leiden dat de rivier zich splitst. Zo'n splitsingspunt kan lang blijven bestaan en houdt zichzelf ook in stand, want naarmate een loop, om welke reden dan ook, meer water gaat trekken, wordt daar ook meer bodemsediment heen gevoerd, waardoor deze bedding na verloop van tijd geblokkeerd raakt en de andere bedding het stokje weer over kan nemen. Het is niet helemaal duidelijk wanneer het splitsingspunt tussen Waal en Neder-Rijn is ontstaan, maar voor de Romeinse tijd was deze er waarschijnlijk al. De splitsing lag toen juist ten oosten van Nijmegen en de hoofdbedding liep met enkele meanderbogen via Elst en Valburg naar de Neder-Rijn ter hoogte van Opheusden. De Waal was kleiner en volgde waarschijnlijk ongeveer het huidige tracé.

Rond of na de Romeinse tijd trad een avulsie op en verplaatste de Rijntak zich naar het tracé van de huidige Rijnstrangen. Het splitsingspunt schoof mee in stroomopwaartse richting. De Waal bleef bestaan als secundaire loop. Rond het jaar 1000 werd de Waal steeds belangrijker als afvoerweg van het Rijnwater en dat ging ten kostte van de Neder-Rijn. Ook de IJssel had met deze verandering te maken, maar omdat deze rivier nog relatief jong was en zich actief insneed in de ondergrond ging zij juist ook meer water trekken, wat ook nog eens ten kostte ging van de Neder-Rijn. In de honderden jaren die volgden, waren er soms fasen dat de Neder-Rijn (en IJssel) weer meer water ontvingen, maar de Waal bleef toch al die tijd de belangrijkste afvoerweg. In de loop van de 17^e eeuw nam de waterstroom naar de Neder-Rijn (toen nog via de huidige Rijnstrangen) nog verder af en vooral bij lagere rivierafvoeren was het debiet dat naar het noorden aftakte zo klein dat o.a. scheepvaart niet meer mogelijk was. Mogelijk dat toen ook al ingrepen in het zomerbed, die ter hoogte van Lobith in de rivier werden uitgevoerd, een rol speelden in de sterke afname van het debiet naar de Neder-Rijn.

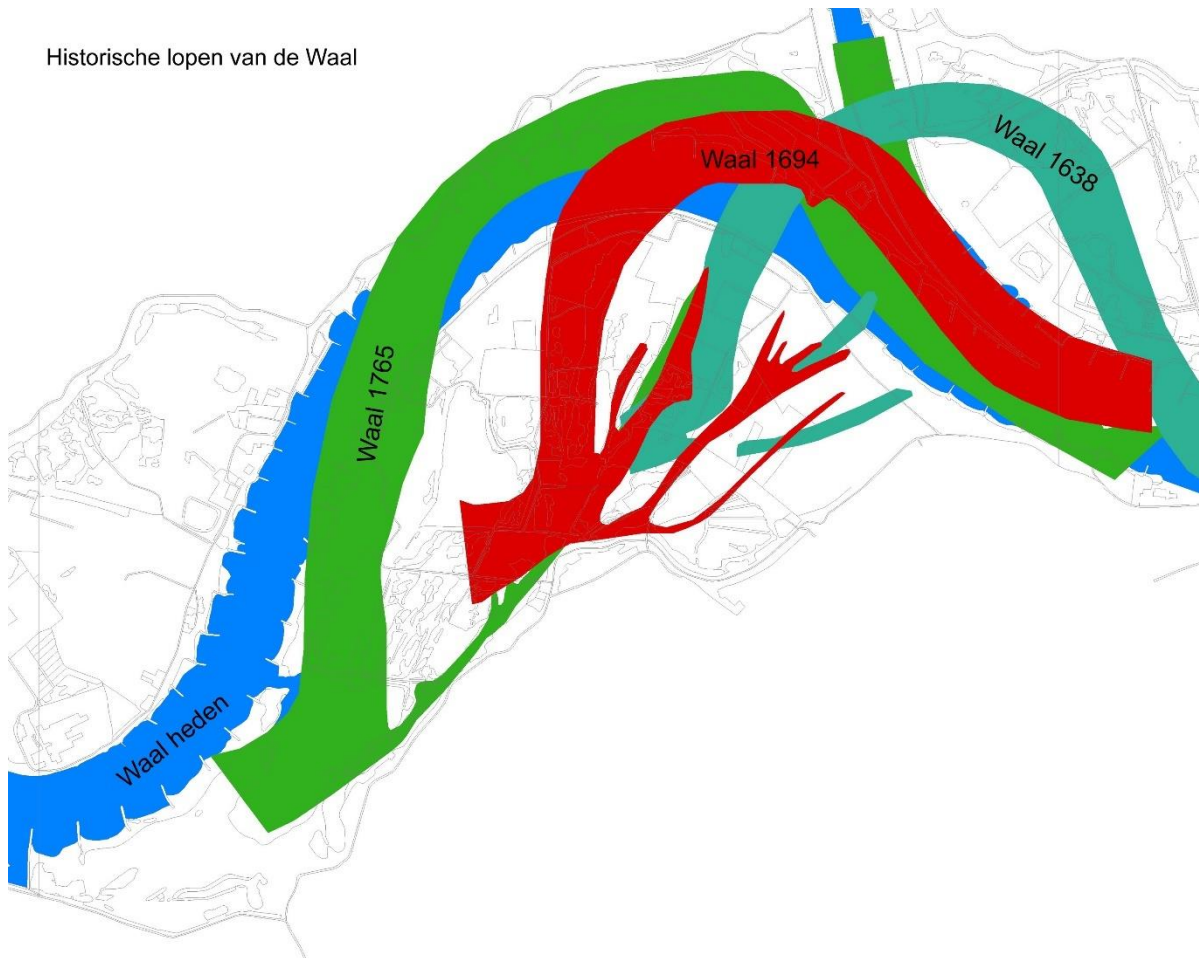


Figuur 2.10. Kaart uit begin 18^e eeuw van de omgeving de huidige Boven-Rijn (noord is onder). De Neder-Rijn die aan de linkerkant van boven naar onder loopt is vrijwel dicht geslibd en de Waal ontvangt vrijwel al het water. Geheel rechts is het dan net gegraven Pannerdensch kanaal te zien.

Begin 18^e eeuw veranderde de situatie weer toen het Pannerdensch Kanaal werd gegraven (zie figuur 2.10) en er een nieuwe kortere doorsteek ontstond tussen de Waal en Neder-Rijn. Dit zorgde meteen voor een revitalisering van de waterstroom in noordelijke richting. Met het graven van het kanaal begon ook de fase waarin het splitsingspunt werd beheerd. De natuurlijke morfodynamiek werd aan banden gelegd en sedimentatie en verlegging van de loop bepaalden niet langer de hoeveelheid water die via de verschillende rivieren werd afgevoerd. Alleen het proces van zomerbeddaling, dat een aanvang nam na het vastleggen van de rivieroeveren met kribben, viel altijd al buiten de scope van het beheer. Gaandeweg leidde dit ertoe dat de afvoerverdeling in de meest recente tijd toch weer langzaam verandert; met name ten gunste van de Waal (zie verder H4.3).

De bedding die het meeste water ontvangt, is ook degene die stroomafwaarts van het splitsingspunt het morfologisch het meest actief is. In de Gelderse Poort vertaalde dat zich altijd in vrij actieve meandervorming, waarbij de meanders zich in de loop der tijd niet alleen zijdelings uitbreiden, maar ook langzaam stroomafwaarts migreren. De huidige grote bochten in de Boven-Rijn/Waal tussen Spijk en Nijmegen zijn hiervan een goed voorbeeld en de kaart van de historische lopen (figuur 2.4) laat ten noorden van Nijmegen vergelijkbare meanders zien in de ondergrond van de Overbetuwe. In een dergelijk systeem worden de uiterwaarden van de rivier na een fase van aangroei en sedimentatie weer opgeslokt door de zich stroomafwaarts verplaatsende meanders (zie figuur 2.11).

Historische lopen van de Waal



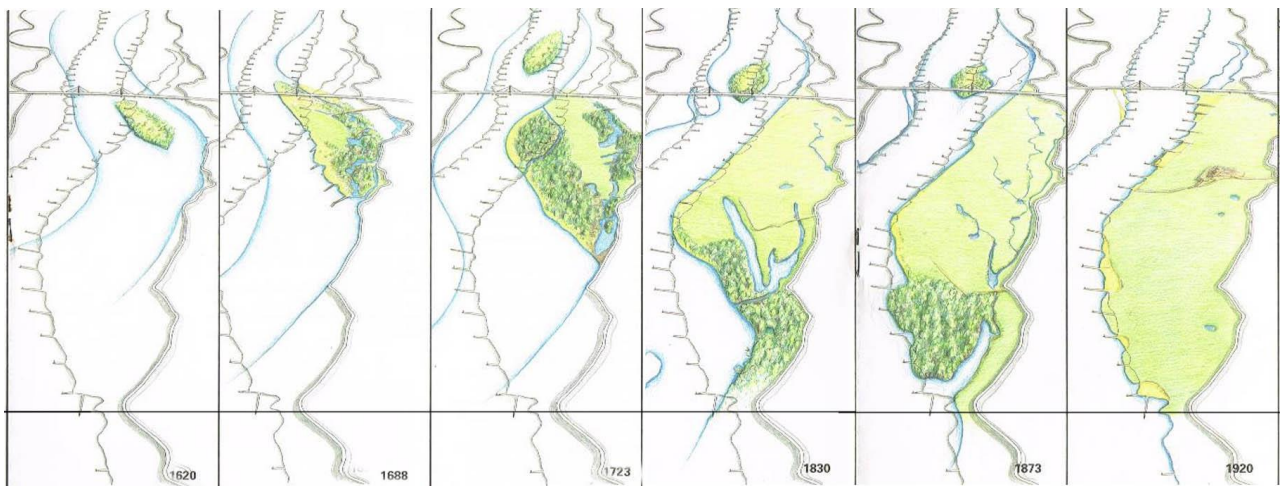
Figuur 2.11. Zich verplaatsende meanders in de Boven-Waal (Bron: Peters et al., 2006)⁷

Naast deze ruime meanders zijn er ook trajecten waar de morfologisch actieve rivier een licht slingerend verloop heeft. De bedding verplaatst zich hier wel stroomafwaarts en zijdelings, maar ontwikkelt daarbij geen ruime meanders. Er ontstaat dan een patroon van zogenaamde aanwaswaarden die alternerend op de ene en de andere oever liggen (zie figuur 2.12). Langs de Waal liggen ze nu alleen stroomafwaarts van Nijmegen, maar langs de Neder-Rijn behoren vrijwel alle uiterwaarden tot dit type. Langs de IJssel vinden we ze in het eerste traject tot aan Rheden. Stroomafwaarts daarvan vinden we ze ook, maar dan binnen de contouren van een historische meander (op de plaats waar nu het Rhederlaag ligt). Deze meander is waarschijnlijk al in de beginjaren van de IJssel ontstaan, maar lag vrijwel vast. In latere perioden vertoonden delen ervan wel de processen van een licht slingerende loop met aanwaswaarden, zoals bv ter hoogte van de Vaalwaard. Stroomafwaarts van Doesburg was weer sprake vanaf actieve meanders, hier in de vorm van kronkelwaarden die vermoedelijk in de tweede helft van de Middeleeuwen ontstaan zijn (zie H2.5)

Zodra een loop minder water ontvangt stopt de stroomafwaartse migratie van de meander en ontwikkelt deze zich wel tot een hoefijzervorm. De meander van Erlecom uit de 16e eeuw is hiervan een goed voorbeeld. Zij stamt uit een tijd dat de Waal relatief weinig water ontving, wat ook gevolgen had voor de morfodynamiek. Naarmate een loop minder water ontvangt neemt de morfodynamiek rondom het zomerbed stapsgewijs verder af: eerst stopt de stroomafwaartse migratie en als de erosieve kracht nog verder afneemt, stopt uiteindelijk ook de zijwaartse verplaatsing van de meander en wordt de bedding vrijwel stabiel. Omdat de aanvoer van fijn

⁷ Peters et al., (2006) Handboek Cyclisch Beheer

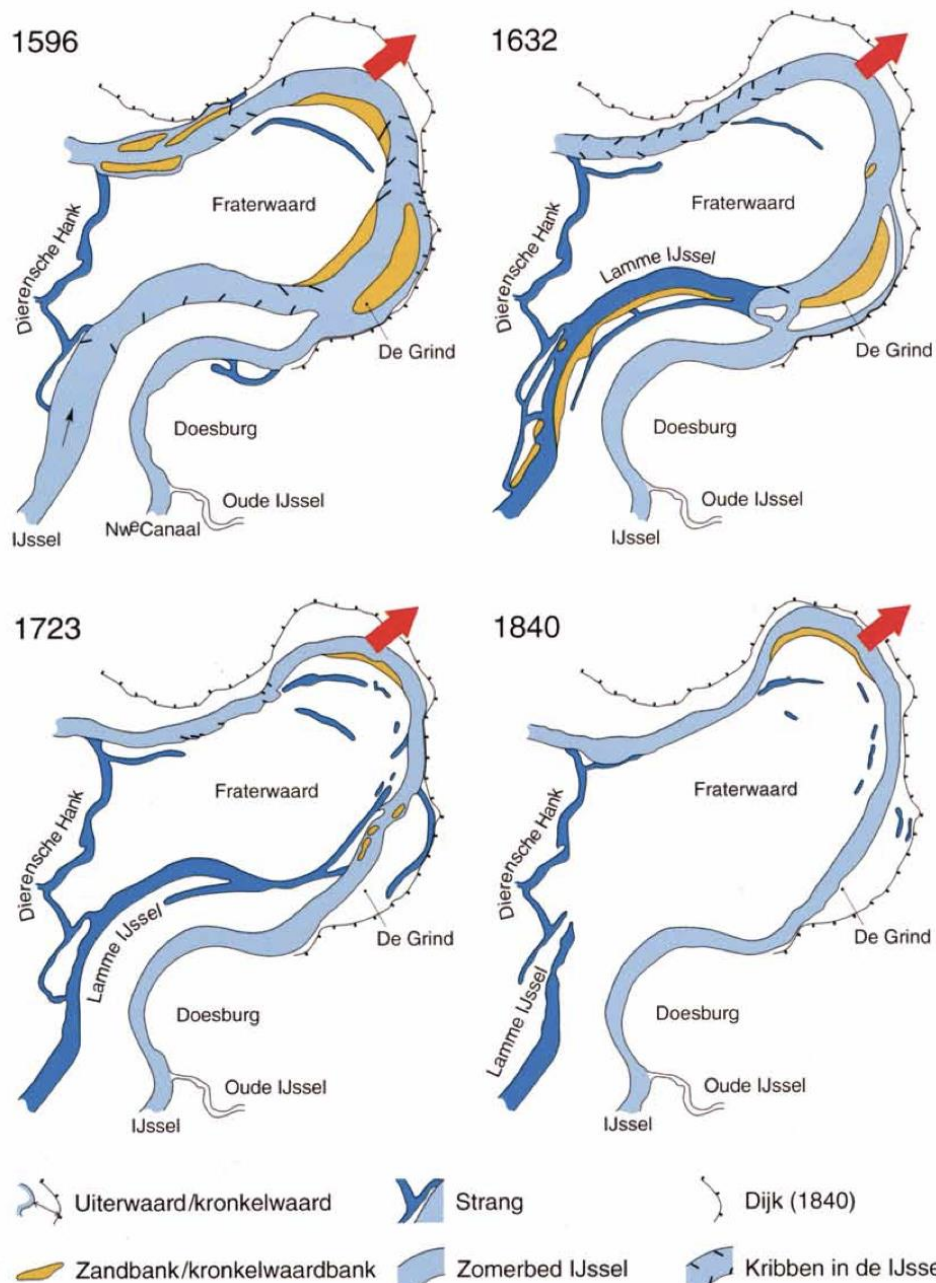
sediment vanaf bovenstrooms nog wel aanhoudt, ontstaat er een sedimentatie-overschot en worden de uiterwaarden gaandeweg bedekt met sediment. Neder-Rijn en Waal zijn wat morfodynamiek betreft elkaars tegenpolen: naarmate de Waal steeds meer water te verwerken kreeg, bleef deze morfologisch actief en eerder afgezette sedimenten werden steeds weer opgenomen door de migrerende bochten. De Neder-Rijn daarentegen, die minder water te verwerken kreeg, verloor het vermogen om te eroderen, waardoor hier de uiterwaarden bedekt werden met een steeds dikker pakket klei. Dat de Neder-Rijn ooit een meer dynamische rivier was blijkt uit het feit dat in de uiterwaarden nog wel historische geulen aanwezig zijn, die erop wijzen dat de bedding enkele honderden jaar terug nog wel migreerde. Ook de relatief brede stroomgordel en brede uiterwaarden, nauwelijks smaller dan bij de Waal, wijzen erop dat de Neder-Rijn wat dynamiek betreft ooit meer op de Waal heeft geleken dan nu nog het geval is.



Figuur 2.12. In de trajecten waar de rivierbedding niet sterk meanderde, had deze vaak een licht slingerende loop had en ontstonden zogenaamde aanwaswaarden. De hier getoonde opeenvolging is van de Waal bij Ewijk, maar dit proces vond op dezelfde wijze plaats langs trajecten van de Boven-IJssel en de Neder-Rijn.

De IJssel had ter hoogte van Arnhem haar eigen splitsingspunt en ook hier bepaalde de hoeveelheid water die rechtsaf de IJssel in sloeg hoe actief deze relatief nieuwe rivier was. Deze rivier was ontstaan toen ca 1000 jaar geleden de doorbraak van de drempel ter hoogte van Doesburg een feit was (zie H2.5). Aanvankelijk was het verval over het traject tussen Arnhem en Zutphen zeer gering en de IJssel zal toen nog niet veel water getrokken hebben. Na verloop van tijd sneed de IJssel zich echter vanaf het traject tussen Zutphen en Deventer in stroomopwaartse richting in (zie figuur 2.9). Dit stroomopwaartse deel kwam daardoor meer onder verhang te liggen. De IJssel zal hierdoor meer water zijn gaan trekken en werd morfologisch actiever. Dit ging ten kostte van vooral de Neder-Rijn voorbij Arnhem die sindsdien minder water zal hebben ontvangen en morfologisch juist minder actief werd. Uit onderzoek aan de IJsseldelta blijkt dat deze vanaf de 12^e eeuw begon uit te groeien in de Zuiderzee (Ente, 1973 en 1974). Makaske et al. (2008) concluderen dat de grootste activiteit van de IJssel plaats vond tussen de 12^e en 17^e eeuw (zie figuur 2.13).

Uiteindelijk zou de IJssel vanaf de 17^e eeuw morfologisch weer minder actief worden. Dit werd veroorzaakt doordat de Rijnloop bovenstrooms, ter hoogte van de huidige Rijnstrangen, verzandde en steeds minder water ging ontvangen. Uiteindelijk werd de toevoer van water in het begin van de 18^e eeuw hersteld, door het graven van het Pannerdensch Kanaal. De IJssel is daarna echter nooit meer zo morfologisch actief geworden als in de fase voor de vermindering van de watertoevoer. Waarschijnlijk is de wateraanvoer na het graven van het Pannerdensch Kanaal dus altijd minder gebleven dan eerder.



Bron: Maas, 1998

Figuur 2.13. Ruim 4 eeuwen meander-ontwikkeling van de Fraterwaard (Bron: G. Maas, 1998). Tot in de 17^e eeuw was de morfologische activiteit van de IJssel groot, omdat deze veel water ontving. Vanaf de 18^e eeuw verliep de ontwikkeling steeds langzamer om vanaf eind 19^e eeuw helemaal tot stilstand te komen, omdat de rivier werd vastgelegd. Sinds 1970 is de meander ook doorsneden.

2.7 Samenvatting

Samengevat zien we dat de wisselende afvoerverdelingen vanaf de Middeleeuwen in belangrijke mate het karakter van de huidige riviertrajecten in de Gelderse Poort hebben bepaald:

- De Waal kreeg vanaf de Middeleeuwen steeds meer water te verwerken en ontwikkelde zich tot een rivier die morfologisch steeds actiever werd met stroomafwaarts 'wandelende' meanders en veel zandtransport. Klei werd wel op de uiterwaarden afgezet, maar omdat de bedding zich steeds verplaatste ook weer snel opgeruimd.
- De Neder-Rijn ontving vanaf de Middeleeuwen juist steeds minder water en werd morfologisch minder actief. De bedding die aanvankelijk nog zijdelings migreerde kwam vrijwel stil te liggen.

Klei dat op de uiterwaarden werd afgezet werd niet meer opgenomen, waardoor een dik kleipakket ontstond dat de geulen uit de eerdere, morfologisch actieve periode bedekte.

- De IJssel kende na haar ontstaan (ca 1000 jaar geleden) eerst een korte fase waarin weinig water werd doorgevoerd en er tussen Rheden en Zutphen grote, vrijwel stabiele meanders ontstonden. Naarmate de bedding meer onder verhang kwam te liggen, werd meer water doorgevoerd en nam de morfologische activiteit toe. Dit werd op het traject tussen Doesburg en Deventer nog eens gestimuleerd doordat de 'nieuwe' rivier zich moest insnijden in het oude glaciële rivierterras, waarbij veel sediment vrijkwam. In het traject stroomafwaarts van Doesburg werden de eerdere brede meanders weer verlaten en ontstond een nieuwe bedding centraal in het dal. Op plaatsen waar de ondergrond hier uit eerder opgestoven, fijne zanden bestond, werd de bedding nog eens extra morfologisch actief en ontstonden nieuwe meanders met uitgestrekte kronkelwaarden. Waar de bodem een andere samenstelling had ontstond een licht slingerend, morfologisch minder actieve loop. Stroomopwaarts van Doesburg ontstond ook een licht slingerende loop, maar hier werden de meanders die in de eerdere fase waren ontstaan niet verlaten, zodat zich binnen de contour van deze meanders een licht slingerende morfologisch actieve loop ontwikkelde. Vanaf de 17^e eeuw ontving de IJssel weer minder water a.g.v. het verzanden van de Rijnstrangen en nam de morfologische activiteit weer sterk af.

3. Ingrepen in natuurlijk functioneren en gevolgen voor de dynamiek

Na miljoenen jaren vrij spel werd de loop van de rivieren vanaf de 10^e eeuw in een aantal fasen door menselijke ingrepen steeds meer aan banden gelegd. Mensen woonden al tienduizenden jaren in het rivierengebied, maar de eerdere bewoners hadden nog nauwelijks invloed op de loop van de rivieren. Wel brachten zij, vanaf de introductie van de landbouw, grote veranderingen aan in het landschap. Tot die tijd was het rivierengebied met bossen begroeid, die grote hoeveelheden wild aantrokken en daarmee mesolithische jagers.

Rond 3400 jaar geleden doet de landbouw in ons land zijn intrede. Het rivierenlandschap wordt ontbost en raakt zijn wildstand grotendeels kwijt ⁸. Uit veel opgegraven nederzettingen blijkt dat het rivierengebied al relatief dichtbevolkt is als de Romeinen komen. Ook in de Romeinse tijd waren de rivieren echter nog grotendeels onbedijkt en overspoelde het water bij hoge afvoeren het hele rivierengebied tot aan de randen van de hoge gronden. Dat veranderde ongeveer 1000 jaar later toen de bedijking op grotere, meer regionale schaal ter hand werd genomen. Hiermee werd het overstromingsgebied voor het eerst sterk ingeperkt. In de eeuwen daarna zouden er nog veel ingrepen volgen die de vrijheid van de rivieren verder aan banden zou leggen. Veel ingrepen hadden op hun beurt soms ook ongewenste effecten, die dan met nieuwe ingrepen verholpen moesten worden.

In dit hoofdstuk wordt de grote variatie aan ingrepen beschreven die in de Gelderse Poort zijn doorgevoerd, verdeeld over 6 verschillende onderwerpen:

1. Lokale bedijking
2. Aanleg dijkkringen (winterdijken)
3. Aanleg zomerkades
4. Riviernormalisaties
5. Aanleg stuwen
6. Recente ontwikkelingen in inrichting en beheer (1900 – nu)

Deze ingrepen volgen elkaar in grote lijnen op in de tijd, maar de eerdere liepen ondertussen vaak ook door, waardoor het menselijk handelen in het riviersysteem steeds uitgebreider en complexer werd. Al met al zorgden de ingrepen ervoor dat de rivierdynamiek stap voor stap kleiner werd. Pas recent is daar meer oog voor gekomen en de natuurontwikkeling van de laatste 25 jaar heeft daar weer wat verandering in proberen te brengen; maar tot nu toe is dat nog maar beperkt gelukt.

3.1 Lokale bedijking: 10^e – 12^e eeuw

Vanaf de 10e eeuw nam de bewoning in het rivierengebied toe en om zich te beschermen tegen overstromingen, legde men kades aan rond de bewoningskernen. Het ging om lokale initiatieven en er was nog geen sprake van een doorlopende dijkkring. Vaak bestond zo'n kade er uit dat bovenstrooms van het dorp een zijkade (ook wel zeekade of zijdwende genoemd) werd aangelegd, die het water tijdens hoogwater rond de bewoning leidde (zie figuur 3.1). Op de rivieren hadden deze ingrepen nog weinig invloed: de omvang van de overstroming werd er enigszins door beperkt, maar de morfodynamiek van de rivierloop werd slechts heel lokaal beïnvloed.

⁸ Leendert Louwe Kooijmans, onze vroegste Voorouders (2017)



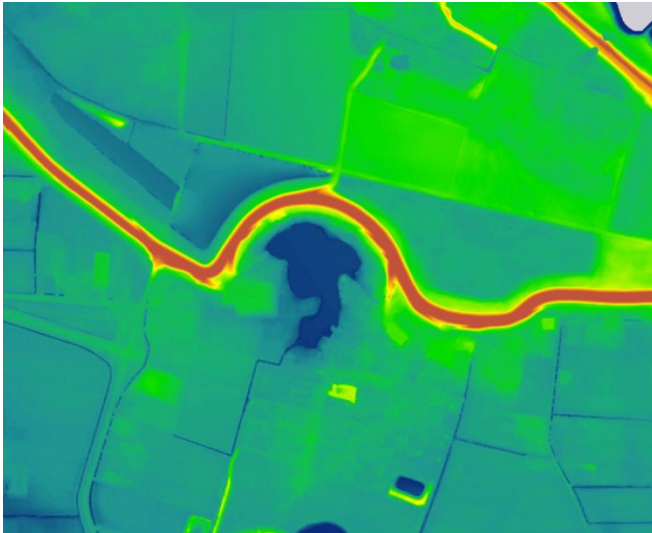
Figuur 3.1. Kaart uit ca 1500 van het westelijk deel van het land van Maas en Waal met de dan al doorgaande dijkkring en de (eerder aangelegde) zijdwendes bij de dorpen. De Waal (bovenaan) was nog dynamisch met eilanden.

3.2 Aanleg dijkringen: 12^e – 14^e eeuw

Naarmate de welvaart en de middelen toenamen, werd de algehele bedijking van het rivierengebied ter hand genomen. In de Gelderse Poort speelde dit langs de gehele Waal en Neder-Rijn en bij de Boven-IJssel alleen vooral langs de oostelijke oever. De eerste bedijking van de Neder-Rijn vond plaats in het huidige Rijnstrangengebied. Anders dan bij de zijdwendes werden nu evenwijdig aan de rivieren dijken aangelegd, die aaneengesmeed werden tot dijkringen. Zo werden voor het eerst grote oppervlakten land buiten de invloed van rivieroverstromingen gehouden. De eerste dijken waren nog beperkt in omvang, misschien wel hoog genoeg, maar zeker niet opgewassen tegen een bedding die zich verlegde. Vooral waar een uitscharende buitenbocht tot dicht aan de dijk kwam, leidde dit met regelmaat tot het bezwijken van de dijk. Na de overstroming werd de dijk herbouwd op een nieuwe plek, soms wat verder van de rivier af, maar soms ook rond een ontstane kolk juist richting de rivier. Ook ophopend en kruiend ijs tijdens ijsgang leidde vaak tot dijkdoorbraken. In de eeuwen die volgden na het sluiten van de dijkringen, waren dijkdoorbraken en dijkterugleggingen eerder regel dan uitzondering en veranderde de kaart van het rivierengebied nog vaak. Specifiek in de Gelderse Poort konden ook veranderingen in de afvoerverdeling tot dijkdoorbraken leiden. Een voorbeeld daarvan zijn de doorbraken van de Rijndijken in het Rijnstrangengebied die een gevolg waren van een loopverlegging van de Boven-Rijn, waardoor de Rijnstrangen bij hoogwater ineens weer meer water moesten doorvoeren⁹.

⁹ A. Driessen: Water in de streek van Rijn en IJssel.

Door de dijken te verstevigen en, later ook, de bewegende loop van de rivier met kribben vast te leggen, lukte het in de loop der eeuwen steeds beter om de dijken te consolideren en waren dijkreparaties steeds minder vaak nodig. In de kleine ijstijd (tussen 1500 en 1800) bleek echter dat de dijken vaak niet bestand waren tegen de ijsgang waarbij soms grote ijsdammen ontstonden, die het water opstuwden en de dijk lieten doorbreken. Deze doorbraken zijn herkenbaar aan de doorbraakkolken die daarbij ontstonden (zie figuur 3.2).

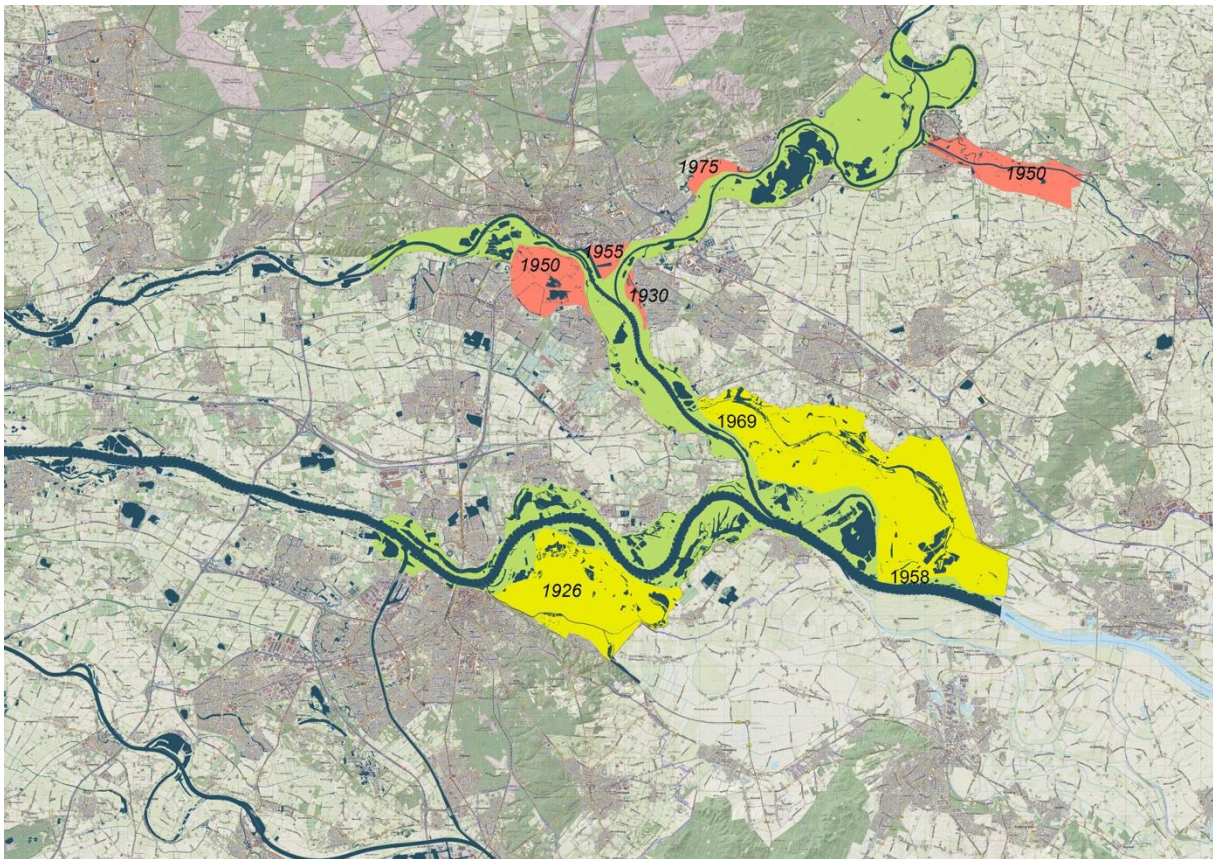


Figuur 3.2. Doorbraakkolk langs de Neder-Rijn bij de Angerensche Polder. Veel doorbraakkolken stammen uit de periode van de Kleine ijstijd toen als gevolg van ijsdammen de dijk het vaak begaf. Anders dan bij ondermijning door de uitscharende rivier kon de dijk in dergelijke situatie ongeveer op dezelfde plek teruggelegd worden; in dit geval buitenom het kolkgat. Kolken vangen tijdens hoogwater relatief veel kwelwater af. Ten behoeve van de afvoer van dit water is een sloot aangelegd naar het achterland.

Zo werd met vallen en opstaan in 5 eeuwen de bedijking van het rivierengebied steeds beter geregeld en werden dijkdoorbraken uiteindelijk een steeds zeldzamer verschijnsel. De laatste grote dijkdoorbraken stammen inmiddels uit het begin van de 20^e eeuw. Vroeger was een dijkdoorbraak vaak de aanleiding om een hele dijkkring nog eens goed onder de loep te nemen en deze integraal te verhogen, vaak tot een hogere waarde dan de opgetreden waterstand. Zo waren ook de overstromingen van 1926 aanleiding om veel dijken op te hogen en te verbreden; tot 1 m boven de hoogste opgetreden waterstand. Ook werd toen het systeem van overlaten, waarbij het water gecontroleerd binnendijkse gebieden kon inunderen, losgelaten (bijv. in de Ooijpolder).

De bedijking van de rivieren werd niet overal op dezelfde manier aangepakt en verliep ook langs iedere tak op een andere manier. Langs de IJssel werd, op Het Duivense en Zevenaarse Broek na, pas in de 20^e eeuw met de bedijking begonnen. Er waren wel al zomerkades aangelegd, maar die overstroonden tijdens hoogwater. Door de late bedijking bleef ook het historische Rijndal (nu Oude IJssel) ten noorden van Montferland nog lang voor het water bereikbaar en tijdens perioden van hoge IJsselafvoeren overstroomde dit dal vanuit het westen tot aan Laag-Keppel toe. Pas rond 1950 werd de monding van de Oude IJssel bij Doesburg van het overstroombare gebied afgesloten. De Oude IJssel kreeg soms ook vanuit het oosten veel water te verwerken. Het traject van de Boven-Rijn tussen Rees en Emmerich was al in de 15^e eeuw bedijkt, maar net als elders waren er regelmatig dijkdoorbraken en een deel van het Rijnwater zocht dan zijn vroegere weg ten noorden van Montferland langs. Ook kon, zolang de Rijnstrangen via de Spijkse Overlaat nog meestroomden, bij hoogwater een deel van het water stroomopwaarts via de Wild naar het dal van de Oude IJssel stromen en dan noordelijk van Montferland naar het IJsseldal. De late bedijking van het IJsseldal verklaart ook de bijzondere situatie bij de Havikerwaard, waar de overstromingsvlakte van de IJssel

ruim 2,5 km breed is, breder dan enig ander traject langs de IJssel en zelfs in het rivierengebied. Het is het enige deel van het oorspronkelijke IJsseldal dat tijdens de fase van bedijking, die (buiten de Liemers) rond 1950 begon, niet is meegenomen.



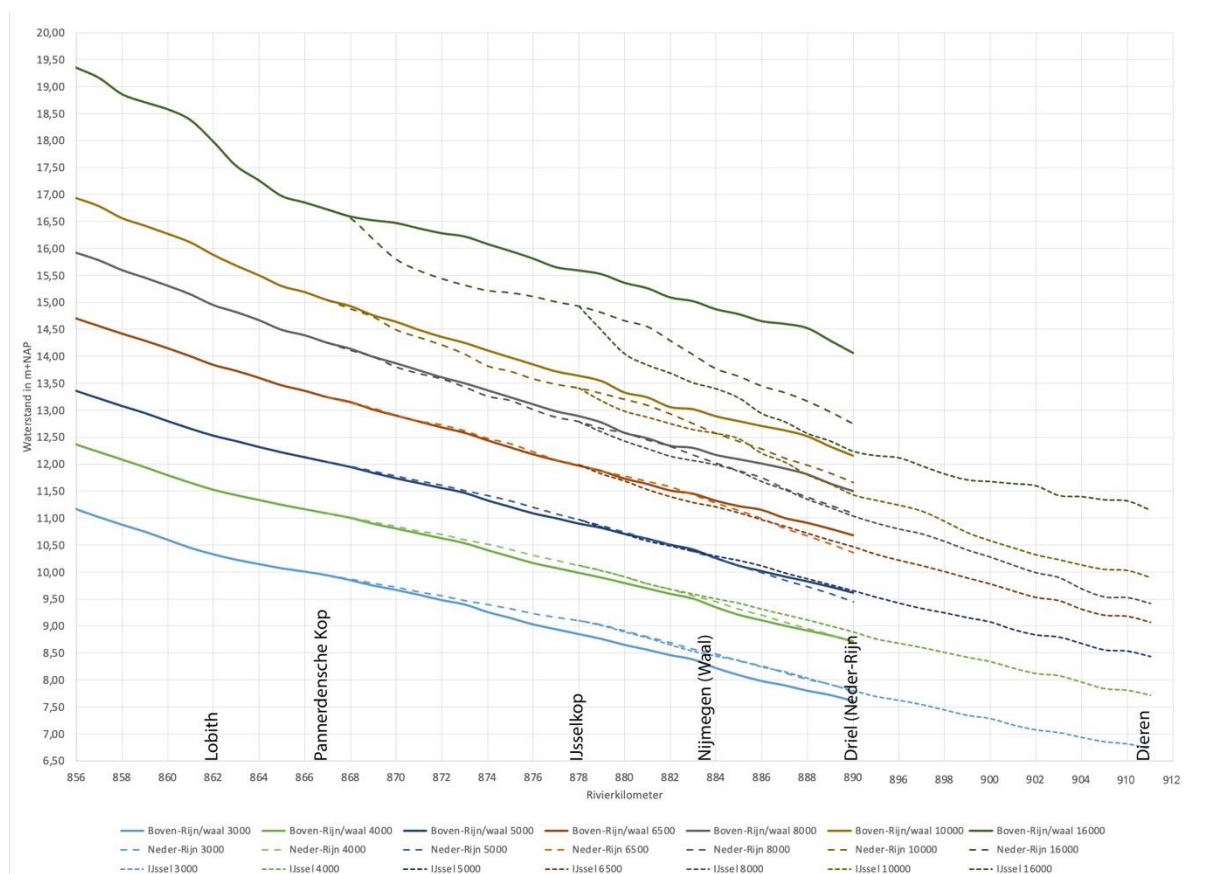
Figuur 3.3. Omvang van het huidige buitendijkse gebied (groen) en de gebieden die in de 20^e eeuw door het vooruitleggen van de dijk aan het overstroombare gebied zijn onttrokken (jaartallen geven het moment van afsluiten weer). De rozerode gebieden waren voorheen buitendijks, de gele gebieden hadden een functie als retentiegebied en stroomden alleen in bij zeer hoge afvoeren. In de Ooijpolder werd water ook bewust ingelaten om de weilanden van voedselrijk slib te voorzien. Dit gebruik verdween toen de Ooijpolder na het hoogwater van 1926 definitief werd ingedijkt.

Langs de Waal begon de bedijking al vroeg en is de dijk in de loop der eeuwen ook, meer dan bij de andere trajecten, lokaal naar achteren gelegd. Oorzaak was de grotere afvoer die Waal te verwerken kreeg en de grotere morfologische activiteit, waardoor vaak dijkdoorbraken optraden. Vooral de plaatsen waar zandbanen in de ondergrond haaks op de dijk lagen, vergrootten de kans op een actieve kwelstroom naar binnendijks en daarmee een doorbraak. De dijk werd dan over enige afstand naar binnen gelegd, waardoor de oppervlakte van de uiterwaarden toenam en het dijktracé van de Waal in de loop der eeuwen steeds meer plotselinge wendingen kreeg. Tot in de 19^e eeuw waren er nog dijkterugleggingen langs de Waal; het meest recent ter hoogte van Oosterhout bij Nijmegen. Bij de Neder-Rijn, die vanaf de Middeleeuwen relatief minder water te verwerken kreeg en daardoor morfologisch minder actief werd, is de dijk zelden of nooit naar binnen gelegd en de dijktracé 's zijn hier ook rechter dan bij de Waal. Niet dat de dijk hier minder vaak doorbraak - vooral in de koude perioden van de 18^e eeuw waren er veel doorbraken a.g.v. ijsgang - maar de dijk werd nadien meestal weer op ongeveer dezelfde plaats hersteld.

De afnemende activiteit van de Neder-Rijn maakte het mogelijk om enkele dijken in de 20^e eeuw weer naar de rivier toe te leggen. Zo zorgden de dijkverlegging bij de Pleij nabij Westervoort in 1930 en rond bij Malburgen op de zuidelijke Rijnoever nabij Arnhem rond 1950 voor een flinke afname van

het buitendijkse gebied. Daarnaast zijn in de 20^e eeuw in Gelderse Poort gebieden van de overstromingsdynamiek afgesneden die al wel bedijkt waren, maar bij hoge afvoeren, via een overlaat, nog konden meestromen. Het gaat daarbij om de Ooijpolder, waar de dijk na 1926 zover werd opgehoogd dat de retentiefunctie verdween, en de Rijnstrangen, die vanaf 1745 via een overlaat nog Rijnwater afvoerden, maar vanaf 1958 aan de bovenstroomse zijde werden afgesloten en vanaf 1969 aan de benedenstroomse zijde. Het is opvallend dat er in de 20^e eeuw, relatief kort na het tot nu toe hoogst bekende hoogwater in 1926, nog forse delen van het winterbed definitief zijn ingedijkt (zie figuur 3.3).

De verschillen in de bedijkingsgeschiedenis tussen de Waal, Neder-Rijn en IJssel zijn nu nog herkenbaar in de hoogwaterstanden. Deze lopen bij de Waal relatief het meeste op bij stijgende afvoeren. In de figuur 3.4 is dit zichtbaar aan het verschil met de andere riviertakken dat langzaam oploopt vanaf het moment dat de uiterwaarden beginnen te overstromen (vanaf ca. 6.500 m³/s). Bij een maatgevende afvoer is de waterstand in de Waal ca. 20 km stroomafwaarts van de Pannerdensche Kop ruim 1,1 m hoger dan op de Neder-Rijn op dezelfde afstand vanaf het splitsingspunt en ruim 1,5 m hoger dan in de IJssel. Hierin zien we terug dat de bedijking van de Waal, terwijl deze rivier steeds meer water te verwerken kreeg, altijd relatief krap is gebleven. In tegenstelling tot de Neder-Rijn, die minder water ontving, en nu juist relatief ruime uiterwaarden heeft. Langs de IJssel is in het bovenstroomse traject zelfs nog een groot deel van de oorspronkelijke dalvlakte behouden is.



Figuur 3.4. Verhanglijnen van de waterspiegel in de Boven-Rijn/Waal (doorgetrokken lijn), Pannerdensch Kanaal/Neder-Rijn (streepjeslijn) en de IJssel (puntjeslijn) bij Boven-Rijnafvoeren tussen 3.000 en 16.000 m³/s. De verhanglijnen zijn achter elkaar geplaatst, d.w.z. dat vanaf de Pannerdensche Kop de Neder-Rijn aftakt en vanaf de IJsselkop de IJssel. Bij de debieten tot ca 6.500 m³/s lopen de verhanglijnen nog min of meer in elkaars verlengde. Boven die afvoeren nemen de verschillen steeds meer toe en is de waterstand in de Waal relatief hoog en de IJssel relatief laag.

Al met al is het overstroombare gebied met horten en stoten sinds de 10 eeuw steeds kleiner geworden, waarbij steeds werd geanticipeerd op de afvoerdynamiek in de betreffende riviertak: terugleggen als de afvoer (of ook dynamiek door ijs) toenam en vooruitleggen als de dynamiek minder werd. De laatste grote dijkdoorbraken stammen inmiddels uit het begin van de 20^e eeuw. Door de bedijking werd in Nederland uiteindelijk ruim 85% van de overstromingsvlakte aan de rivieren onttrokken. Dit percentage verschilt van riviertak tot riviertak: Waal 90%, Neder-Rijn 90% en IJssel 82%. In de Gelderse Poort bedraagt het ingedijkte areaal ca 75%, wat dus relatief beperkt is. Dit wordt vooral veroorzaakt door het feit dat de Rijn hier in drie takken splitst met ieder hun eigen zomer- en winterbed.

3.3 Aanleg zomerkades (1750 – 1850)

Al vanaf de bedijking in de 15^e eeuw werden de uiterwaarden steeds intensiever gebruikt voor landbouw. De voedselrijke uiterwaarden waren favoriet om er vee te weiden en de hogere gebieden werden daartoe ontgonnen tot grasland. Vanaf de 18^e eeuw gaat men de grotere eenheden omringen met lage kades om daarmee het gebied te beschermen tegen de lagere (zomerse) hoogwaters. Deze omkade gebieden overstroomden wel bij de grotere hoogwaters en om de in- en uitstroom te regelen werden sluisjes en overlaten aangelegd. De met een zomerkade omgeven gebieden worden daarom vaak polders genoemd (bv. Gendtse Polder). De aanleg van zomerkades neemt in korte tijd een grote vlucht en rond 1800 zijn bijna alle grotere uiterwaarden langs de Waal, Neder-Rijn en IJssel omringd met een zomerkade (zie figuur 3.5). De zomerkades verlaagden de kans op een overstroming van de uiterwaarden in het groeiseizoen. Voor de lagere, grazige delen nam deze af van ca 15 dagen naar ca. 3, waarbij de grootste kans vroeg in het voorjaar was.

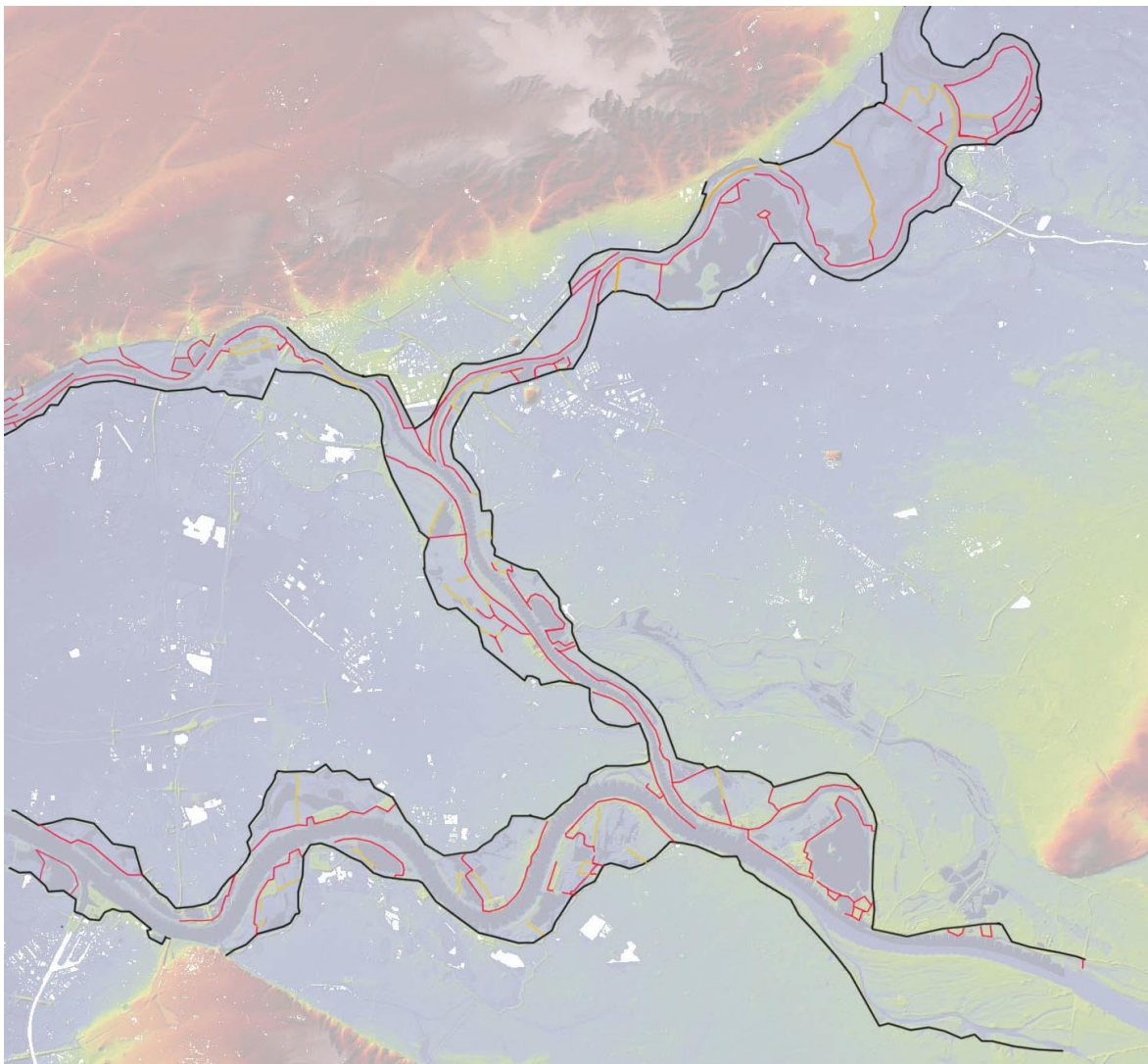


Instream van water over de zomerkade bij opkomend hoogwater; in dit geval met erosie tot gevolg omdat de waterstand buitengaats veel sneller steeg dan binnengaats.

De zomerkades waren geen garantie tegen overstroming in het groeiseizoen, want langs de Rijn konden hoogwaters soms ook in de periode van april t/m juni optreden en soms zelfs in juli. Gemiddeld eens in de 10 tot 15 jaar waren er hoogwaters in het groeiseizoen. In de loop van de 20^e eeuw is de kans hierop echter flink kleiner geworden vanwege de bodemdaling van het zomerbed.

Door de aanleg van de zomerkades langs de Rijntakken veranderde ook het stromingspatroon en nam in de uiterwaarden de stroomsnelheid sterk af. Het gevolg was dat er binnen de bekade gebieden veel klei bezonk. Dit zou een eeuw later de basis leggen voor de baksteenfabricage, die profiteerde van de kleilaag die toen op veel plaatsen al een meter dik was.

Om doorbreken van de kades bij opkomend water te verhinderen werden sluisen aangelegd waarlangs water kon worden ingelaten en bij grotere uiterwaarden werden ook overlaten aangelegd waarlangs het water de uiterwaard in- of uit kon stromen. De kades met sluisen maakten ook het waterbeheer in de bekade gebieden mogelijk en er werden in veel uiterwaarden sloten gegraven die afwaterden op een centrale sloot die het water naar de sluis leidde. In de winter stond de sluis vrijwel altijd open, of werd opengezet als het waterpeil de kade dreigde te overstromen. Dit ging niet altijd goed, getuige de vele kolken die naast zomerkades liggen op plaatsen waar ze zijn doorgebroken.



Figuur 3.5. Ligging van de kades in de Gelderse Poort. De doorgaande zomerkades die uiterwaarden geheel afsluiten van de rivier zijn in rood aangegeven, de overige kades, die bv naar woningen lopen in oranje. Zwart is de winterdijk.

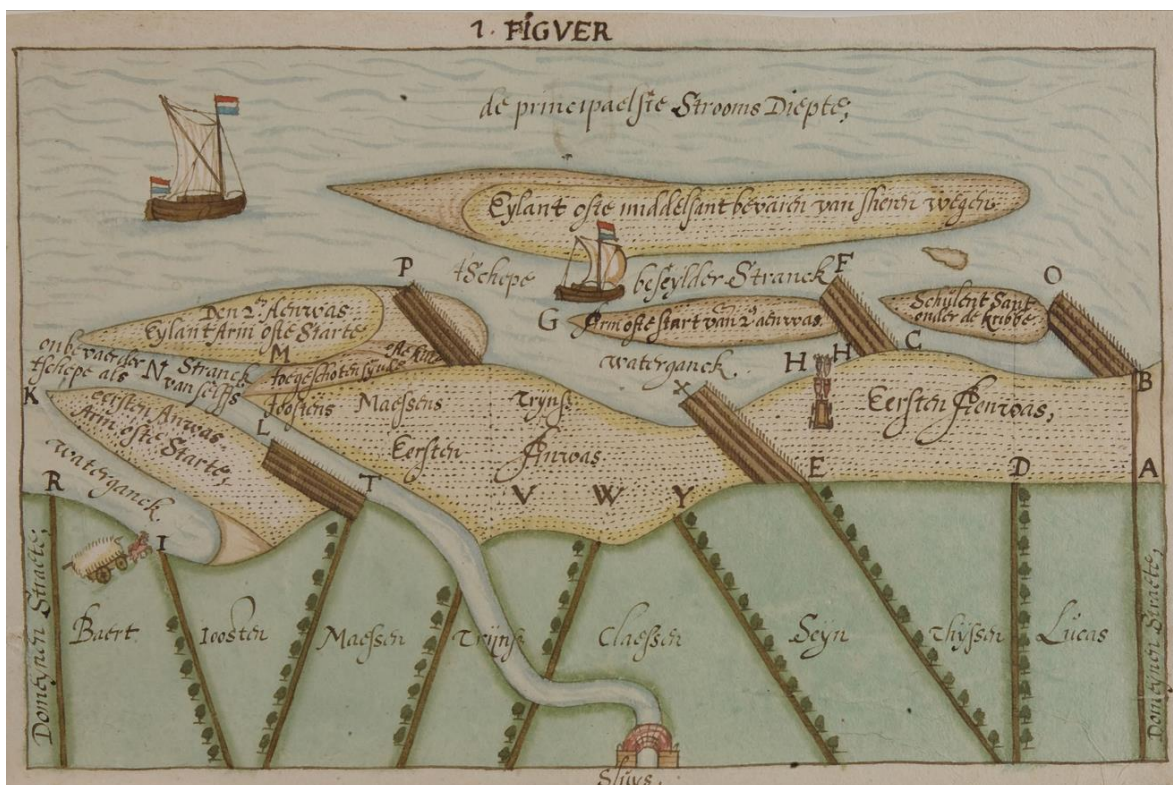
Zomerkades zijn een typisch fenomeen van de Rijntakken. Dit heeft alles te maken met de sneeuw die laat in het voorjaar in de Alpen smelt, waardoor in de Rijn ook in juni of juli nog wel eens een hoogwater kan optreden. Zonder zomerkades zouden er bij de Rijn sinds 1900 ruim 25

hoogwatergolven zijn geweest die de bekaide gebieden ook in de zomer hadden doen overstromen; dit komt overeen met een frequentie van eens in de 5 jaar. De kans nam door de zomerkades af naar slechts eens in de 20 tot 25 jaar.

3.4 Riviernormalisaties 1850 – 1890

Na de aanleg van de winterdijken en zomerkades volgde in de tweede helft van de 19e eeuw een volgende grote ingreep die de natuurlijke dynamiek van de rivieren aan banden zou leggen: de zogenaamde riviernormalisatie. Het zomerbed van de rivieren lag rond 1850 nog niet vast, had een sterk wisselende breedte met ondiepe en diepe delen en er waren ook veel zandeilanden. In die tijd waren er veel dijkdoorbraken als gevolg van kruierend ijs en het normaliseren van de rivier was dan ook vooral bedoeld om de doorstroming te verbeteren en zo de kans op ijsblokkades te beperken.

Vanaf de 16e eeuw werden lokaal kribben al aangelegd, vooral om erosie van de oevers te voorkomen en de rivier van de oever af te houden. Soms werden kribben ook gebruikt om opwassende eilanden bij de oever te trekken en zo land te kunnen winnen. Vaak werd dit gecombineerd met de aanplant van wilgen(griend) om de opzanding te versnellen. In de 16^e en 17^e eeuw werden afspraken over deze vorm van landaanwinning vastgelegd in het Gelders Waterrecht. De landmeter Kempinck werd gevraagd hier een toelichtende kaart bij te maken (zie figuur 3.6). dergelijke ingrepen waren lokaal, maar vooral bij de Neder-Rijn en IJssel zullen ze er aan bijgedragen hebben dat de rivier in die tijd morfologisch al minder beweeglijk werd.



Figuur 3.6. Kaart waarin landaanwinning d.m.v. kribben werd toegelicht door B. Kempinck in 1603 (Bron: Geldersch Archief)¹⁰

De riviernormalisatie waar in de tweede helft van de 19^e eeuw toe werd overgegaan had tot doel de hele rivier vast te leggen, opdat de waterstroom in één bedding werd geconcentreerd. Tegelijkertijd zou dit de bevaarbaarheid verbeteren, waar de scheepvaart van profiteerde die dankzij de

¹⁰<https://www.geldersarchief.nl/bronnen/archieven?mizig=284&miadt=37&miaet=1&micode=0124&minr=38231981&miview=ldt>

industrialisatie zo ook grotere goederenstromen kon gaan verwerken. Het normaliseren hield in dat zandbanken werden weggebaggerd en de oevers werd vastgelegd met kribben, waarmee de hoofdstroom een vaste breedte kreeg (zie figuur 3.7). Iedere riviertak kreeg een vooraf vastgelegde breedte, de zogenaamde normaalbreedte (zie tabel 3.1).

Tabel 3.1. Verandering in beddingbreedte a.g.v. de riviernormalisaties in enkele riviertrajecten in de Gelderse Poort. De opgegeven breedte is de afstand tussen de kribkoppen aan weerszijden van de rivier (bron: Kadaster; topotijdreis).

Riviertraject	Huidige breedte	Oorspronkelijke breedte	Afname in %
Boven-Rijn	320 m	500 – 600 m	ca 40%
Waal	260 m	300 – 600 m	ca 40%
Neder-Rijn tot IJsselkop	120 m	200 – 300 m	ca 50%
Neder-Rijn vanaf IJsselkop	90 m	150 – 250 m	ca 55%
Boven IJssel	65 m	80 – 160 m	ca 45%



Figuur 3.7. Fasen uit de riviernormalisatie van Boven-Rijn tussen Spijk en Lobith aan de hand van 3 rivierkaarten: boven in 1850, midden in 1900 en onder in 1960. (Bron: RWS)¹¹

¹¹ <https://www.rijkswaterstaat.nl/apps/geoservices/geodata/dmc/rivierkaart/geogegevens/>

Een tweede belangrijk onderdeel van de riviernormalisaties was het vastleggen van de afvoerverdeling tussen de Waal en de Rijn bij de Pannerdensche Kop en tussen de Rijn en de IJssel bij de IJsselkop. Al in de 17e eeuw werd hier met constructies geprobeerd water- en sedimentverdeling te regelen. Vanaf het midden van de 18e eeuw was dat min of meer gelukt en is ook bepaald dat d.m.v. vaste regelwerken bij Pannerdensche Kop en bij de IJsselkop de afvoerverdeling werd vastgelegd op: 67% via de Waal, 22% via de Neder-Rijn en 11% via de IJssel (zie figuur 3.8). Zeker in de beginjaren was dat niet meteen een feit en waren regelmatig aanpassingen nodig en ook nu nog is de verdeling van het water een blijvend aandachtspunt.



Figuur 3.8. De kribben werden in enkele fasen aangelegd en later ook nog vaak aangepast. Het jaartal staat in de linker kolom naar de kaart (bron: kadaster).

De kribben hadden het beoogde resultaat, want sinds de aanleg is de zijdelingse beweging van de Nederlands rivieren overal tot stilstand gekomen. De nieuwe stenen constructies hadden daarnaast tot gevolg dat de stroomsnelheid in de hoofdstroom hoger werd, maar ook dat de stroomsnelheden tussen de kribben en op de oever net naast de rivier afnam. Dit had een aantal gewenste effecten, maar ook ongewenste. Zo zorgde de sterkere stroom binnen de bedding ervoor dat zich geen eilanden meer konden vormen (gewenst), maar ook dat de erosie van de bodem van het zomerbed sterker werd en de rivier zich langzaam insleet (ongewenst).

Tegenover de sterkere erosie van de bedding, stond een vermindering van de erosie op de oevers. Dit was een gewenst effect, want men wilde voorkomen dat de bedding zich nog kon verschuiven. De erosie sloeg echter vrijwel overal om in sedimentatie, waardoor de oeverzone zich ophoogde en er langs de rivier relatief hoge zandige oeverwallen konden ontwikkelen. De mate waarin verschilde van riviertak tot riviertak: in de Waal waar veel zand in transport is en de kribben vaak lang zijn, was er een brede zone waar zand kon bezinken en hoogden de oevers lokaal sterk op (zie figuur 3.9). Langs de IJssel en de Neder-Rijn was deze zone minder breed en minder uitgesproken.



Figuur 3.9. De ontwikkeling van hogere zandige oeverwallen naast het zomerbed kwam pas op gang nadat de rivierbedding was vastgelegd met kribben. Historische kaarten laten deze ontwikkeling goed zien. Linksboven is de situatie afgebeeld rond 1880 voorafgaand aan de normalisatie met kribben. De oevers zijn laag en begroeid met bos; lokaal is zand zichtbaar (o.a. links voor de bocht van de Gendtse waard). Rond 1930 is het bos bijna overal verdwenen en heeft plaats gemaakt voor grasland. Zand is nergens zichtbaar, of niet afgebeeld; een smalle strook zou namelijk tussen de kribben wel kunnen liggen. Vanaf 1965 (linksonder) is de zandige oever wel zichtbaar en in 2020 (rechtsonder) is deze nog duidelijker.

Waar uiterwaarden voorheen nog door de zich verplaatsende bedding werden opgeruimd, gebeurde dat na de riviernormalisatie niet meer. Door afzetting tijdens hoogwater van zand op de oeverwal en klei verder van de rivier af (vooral achter zomerwallen) hoogden de uiterwaarden overal op. Door de eerdere bedijking was het overstromingsgebied en daarmee het sedimentatiegebied ook al sterk verkleind en al het sediment dat het zomerbed verliet tijdens hoogwater bezonk in deze smalle zone. De ophoogsnelheid van de uiterwaarden werd daarom veel groter dan die van het oorspronkelijke rivierengebied, waar het water een veel groter gebied kon overstromen. De snelheid van de recente sedimentatie was echter niet overal even groot en varieert naar gelang de inundatiefrequentie, de afstand tot de hoofdstroom en de diepte van de waterlaag in de uiterwaard. Gemiddeld gaat het om 0,5 tot 2 cm per jaar (Middelkoop, 1997). De totale ophoging met klei sinds de riviernormalisaties

varieert dan ook sterk tot soms 2 à 3 m in voorheen laaggelegen delen van de uiterwaarden tot slechts 50 cm of nog minder in de vanouds hogere delen. In de zone vlak naast de rivier, waar het zand bezonk, was de ophoogsnelheid soms nog groter. Met name op plaatsen waar lange kribben waren aangelegd of vooroevers zette zich lokaal een pakket van 5 m zand af. Door deze ophoging werd de hoogwaterafvoercapaciteit van het winterbed aanzienlijk kleiner, wat leidde tot steeds hogere hoogwaterstanden (Kleinhans *et al.*, 2013).

De veranderde morfologische omstandigheden in en om de rivierbeddingen als gevolg van de riviernormalisatie zorgden tevens voor een aanzienlijke verandering van het rivierenlandschap met een opvallende tweedeling van een zandige oeverwal en een kleiige uiterwaardvlakte. De daling van de rivierbodem en de ophoging van de uiterwaarden had ook tot gevolg dat de hydrologische omstandigheden sterk veranderden, het meest in de bovenstroomse delen van de riviertakken (zie verder hoofdstuk 4.3).

Het vastleggen van de rivier met stenen constructies werd na de riviernormalisaties vanaf het midden van de 19e eeuw op steeds grotere schaal toegepast. Zo werden in de tweede helft van de 20e eeuw de oevers van vrijwel de gehele IJssel en grote delen van de Neder-Rijn-Lek en in mindere mate de Waal met steen vastgelegd. Hiermee moest erosie van de oevers voorkomen worden; een probleem dat in de 20e eeuw steeds groter werd, mede doordat het motorvermogen en de grootte van schepen van de binnenvaart sterk toenam. In gestuwde rivieren was de oevererosie en het daarmee gepaard gaande verlies van landbouwgrond sterker dan langs vrij afstromende riviertrajecten. De zandige, min of meer natuurlijke overgangen van de rivierbedding naar de droge oever verdwenen daardoor en dit beïnvloedde ook de uitwisseling van zand tussen de bedding en de hoge oever.

De stenen bekleding had ook tot gevolg dat koeien die in de uiterwaarden graasden de oever niet meer konden bereiken, waardoor hier al snel bos opschoot. Sinds ca 2005 worden de stenen oevers hier en daar, als natuurmaatregel (o.a. KRW), weer opgeruimd, zodat de natuurlijke oeverzone zich kan herstellen. In de Waal werd als maatregel om de vaardiepte te reguleren in grote bochten (o.a. Erlecom en Nijmegen) de rivierbodem vastgelegd met een stortstenen vloer of met bodemkribben. Omdat deze steen niet erodeert en de bodem stroomop- en -afwaarts wel, ligt deze steenmassa inmiddels 50 cm hoger dan de rest van de rivierbodem, waardoor het steeds meer een hindernis wordt voor de scheepvaart.

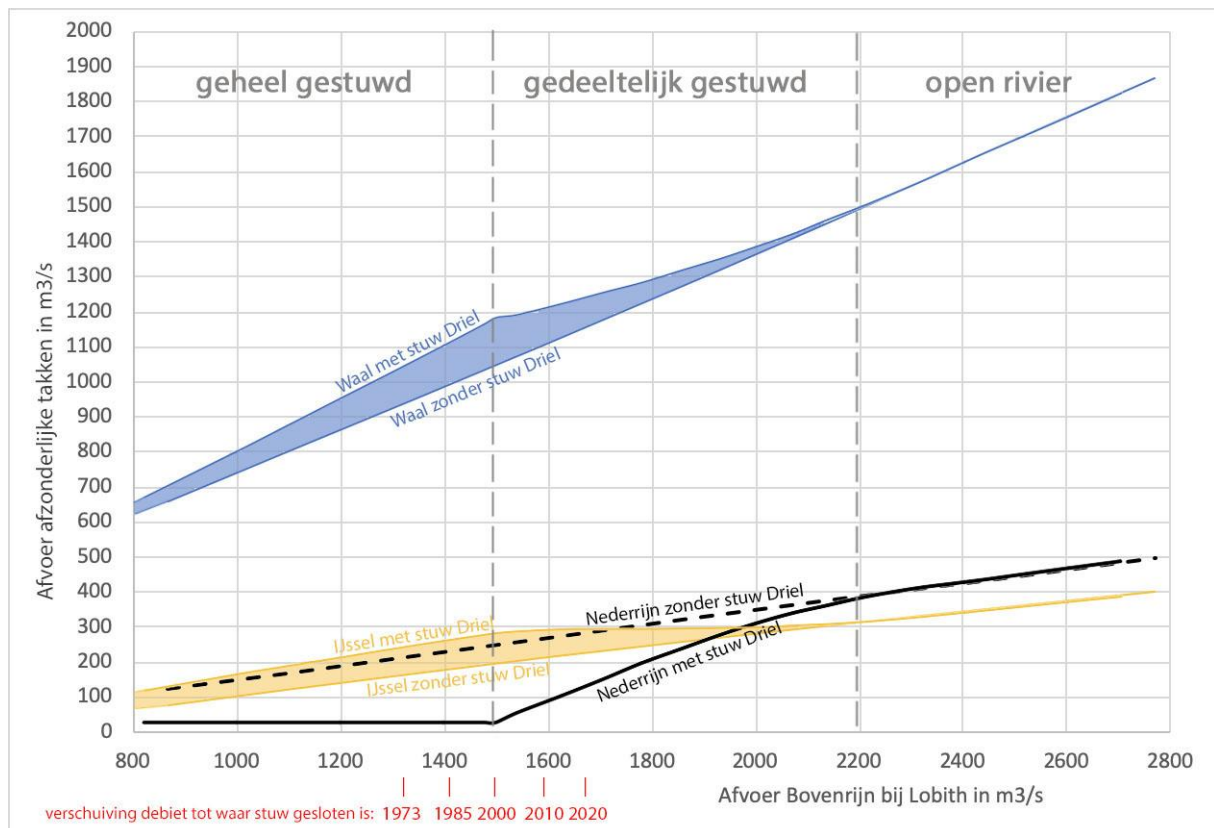


De oevers van de IJssel werden in de jaren '80 van de vorige eeuw grotendeels vastgelegd om erosie door scheepvaartgolven te voorkomen. Recent zijn enkele oevers in het kader van de KRW weer ontsteend (de foto rechts is van een traject nabij Olst, stroomafwaarts van de Gelderse Poort).

3.5 Aanleg stuwen: vanaf 1970

Naarmate de tonnage van vrachtschepen op de rivieren toenam, werden de lage waterstanden een steeds grotere belemmering voor de scheepvaart. Vooral de IJssel had te kampen met slechte bevaarbaarheid omdat deze rivier in het midden van de vorige eeuw nog maar 10% van de Rijnafvoer ontving. Daarom werden vanaf 1970 drie stuwen aangelegd in de Neder-Rijn-Lek, waarbij de eerste bij Driel zorgde voor een herverdeling van het Rijnwater over de splitsingspunten. De stuw van Driel wordt daartoe stapsgewijs gesloten zodra de waterstand bij Lobith onder de 10 m +NAP daalt en vanaf een waterstand van 8,8 m +NAP is de stuw geheel gesloten. De functie van de stuw van Driel is om het rivierwater dat anders naar de Neder-Rijn zou stromen her te verdelen over de IJssel en de Waal. Dit levert dan vooral meer vaardiepte op voor de scheepvaart en zorgt voor extra wateraanvoer naar het IJsselmeer t.b.v. de inname van water.

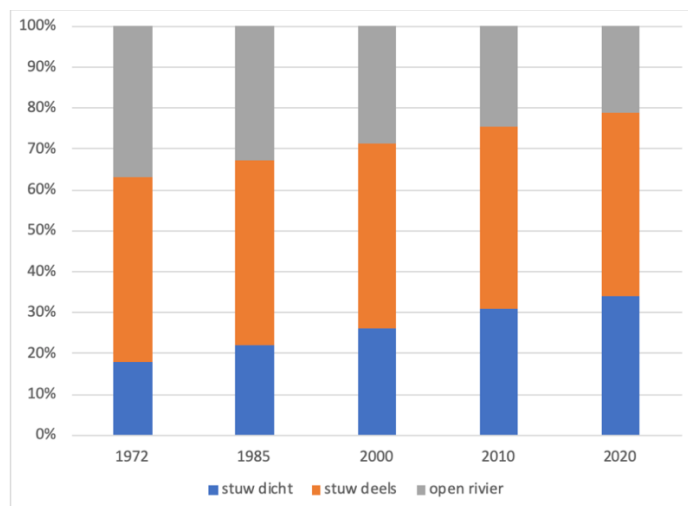
In figuur 3.10 is weergegeven hoe de verdeling van water uitpakt voor de 3 riviertakken. Op de X-as is de Boven-Rijnafvoer weergegeven. De blauwe lijnen geven het gedeelte aan dat naar de Waal stroomt en in oranje is het deel naar de IJssel aangegeven. De vlakken bij de Waal en de IJssel geven het deel van de afvoer aan dat deze rivieren extra ontvangen omdat de stuw van Driel water herverdeelt, dat voorheen naar de Neder-Rijn stroomde. De bovenzijde van het vlak is de situatie met de stuw van Driel in werking, de onderzijde de situatie als er geen stuw was. De Neder-Rijn levert als gevolg van het stuwen, bij toenemende Boven-Rijn afvoer steeds meer water in, zichtbaar gemaakt aan de dichte zwarte lijn t.o.v. de streepjeslijn. De grijze verticale lijn geeft het moment aan waaronder de stuw geheel gesloten is. Dit punt schuift gaandeweg op als gevolg van de bodemdaling van het zomerbed. In het jaar 2000 lag ze op de plek van de grijze lijn, rond 1973 lag dit punt bij ca 1.300 m³/s en inmiddels al bij 1.650 m³/s (in rood onderaan de grafiek weergegeven).



Figuur 3.10. Waterverdeling over de 3 riviertakken in de Gelderse Poort bij verschillende Boven-Rijnafvoeren a.g.v. het sluiten van Driel (toelichting zie tekst).

Ook al staat de stuw dicht bij het splitsingspunt van de IJssel toch is de invloed ervan op de Waal het grootst. Op het moment dat de werking het grootst is (dat is in deze figuur bij een Boven-Rijnafvoer van ca 1500 m³/s) stroomt van de 250 m³/s die zonder stuw naar de Neder-Rijn was gestroomd, 150 m³/s extra naar de Waal en 75 m³/s naar de IJssel. Dankzij dit water heeft de scheepvaart extra vaardiepte: zo'n 40 cm op de Waal en 50 cm op de IJssel. Ook profiteert het IJsselmeer, want bij heel lage rivierafvoeren neemt de afvoer in de IJssel met zo'n 50% toe. De 25 m³/s die resteert in de som hierboven, is het restdebiet dat doorgelaten wordt naar de Neder-Rijn om de stuwpannen te voeden en om de watergebruikers langs de Neder-Rijn, en ook het Amsterdam-Rijnkanaal, van water te voorzien.

Het moment dat de stuw van Driel in werking treedt, is afgeleid van de waterstand bij Lobith. Zodra de stand daar onder de 9,8 m +NAP zakt treedt de stuw in werking. Omdat de relatie tussen de afvoer en de waterstand als gevolg van de bodemdaling langzaam opschuift, wordt ook de periode dat de Neder-Rijn-Lek gestuwd is, steeds langer. In 1970 bedroeg het aantal dagen dat de stuw bij Driel in werking is gemiddeld 180 dagen, inmiddels is dat opgelopen tot 280 (Bron: RWS, watersysteemvisie Rijntakken) (zie figuur 3.10).

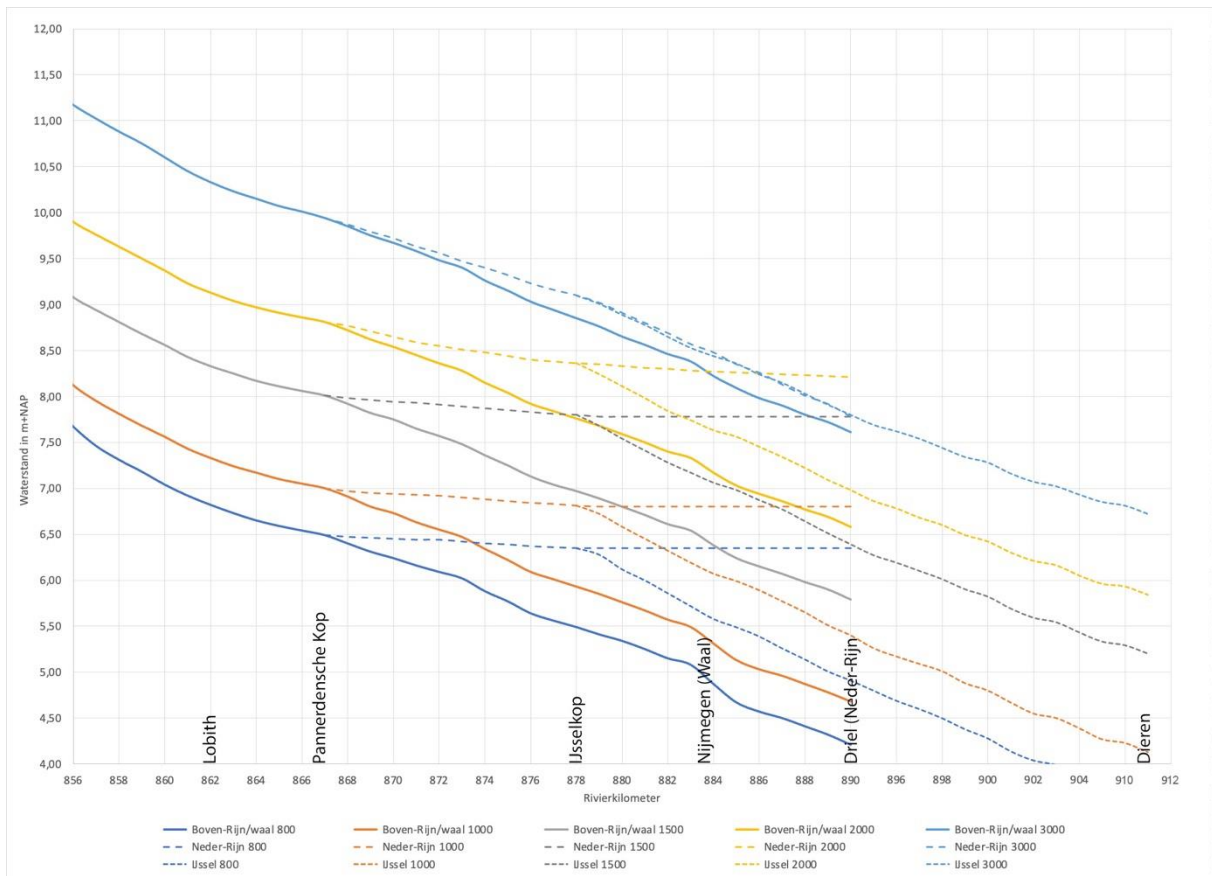


Figuur 3.11. Procentuele verandering dat de stuw van Driel deels of gehele gesloten is.

De stuw van Driel beperkt de toestroom van water naar de Neder-Rijn, maar beïnvloedt ook de waterdiepte (wordt groter) en waterbeweging (wordt langzamer) in het bovenstroomse traject. De werking van Driel is namelijk merkbaar in het hele traject tot aan de Pannerdensche Kop (zie figuur 3.12).

In figuur 3.12 is te zien dat tot en met de lijn van 2.000 m³/s de stuw van Driel in werking is waardoor het water in het Pannerdensch Kanaal en de Neder-Rijn tot aan Driel wordt opgestuwd. Zonder de stuw zouden de verhanglijnen in deze trajecten ongeveer gelijklopen aan die van de Waal. Bij een afvoer van 3.000 m³/s is de werking van de stuw vervallen en lopen de lijnen wel ongeveer gelijk op. Ook de Boven-Rijn ondervindt nog enige invloed van de stuw van Driel. Dit is zichtbaar aan het relatief geringe verhang in het traject tussen Lobith en de Pannerdensche Kop bij de lagere afvoeren.

Terwijl de stuw bij Driel de waterverdeling regelt bij de lagere en gemiddelde afvoeren, is er recent in het kader van Ruimte voor de Rivier ook een regelwerk aangelegd in de uiterwaarden langs het Pannerdensch Kanaal aangelegd: het doorlaatwerk van de Hondbroekse Pleij. Dit regelwerk kan bij hoge en zeer hoge afvoeren de afvoerverdeling over de riviertakken finetunen. Door veranderingen in bodemligging en ruwheden van de uiterwaarden kan de afvoerverdeling namelijk langzaam wijzigen. Met deze stuurknop kan hiervoor gecompenseerd worden.



Figuur 3.12. Verhanglijnen van de waterspiegel in de Boven-Rijn / Waal (doorgetrokken lijn), Pannerdensch Kanaal/Neder-Rijn (streepjeslijn) en de IJssel (puntjeslijn) bij Boven-Rijnafvoeren tussen 800 en 3.000 m³/s. De verhanglijnen zijn achter elkaar geplaatst, d.w.z. dat vanaf de Pannerdensch Kop de Neder-Rijn aftakt en vanaf de IJsselkop de IJssel.

3.6 Recente ontwikkelingen in beheer en inrichting (1990 – nu)

De inperking van het stroomgebied van de Rijntakken met dijken zorgde aanvankelijk voor een toename van de peildynamiek en waarschijnlijk ook de morfodynamiek. Dezelfde hoeveelheid water moest bij hoogwater immers door een beperkter dwarsprofiel worden afgevoerd, waardoor de peilfluctuaties en stroomsnelheden toenamen. Door de vastlegging van de bedding, werd vooral de morfologische dynamiek beperkt en veranderden erosie- en sedimentatiepatronen. Zoals inherent aan een dynamisch systeem reageerde de rivier op deze ingrepen en dat zorgde ervoor dat regelmatig bijsturing nodig was. Zo leidden de vele ingrepen tot een groeiende taak voor de rivierbeheerder om de eisen die aan het riviersysteem werden gesteld op orde te houden.

Tot voor kort kwamen die eisen vooral voort uit de bevaarbaarheid, watervoorziening, agrarische productie en waterveiligheid. Deze eisen leiden tot een vergaande inperking van de natuurlijkheid van het riviersysteem ten gunste van andere functies. Sinds 30 jaar is echter het natuurlijk functioneren van het riviersysteem gaandeweg weer toegenomen. In deze 30 jaar is allereerst het areaal natuurgebied in het rivierengebied sterk toegenomen (zie H5) en in de Gelderse Poort heeft inmiddels bijna 50% van het areaal de status natuurgebied. Vanaf het begin van deze ontwikkeling stond het herstel van hydromorfologische dynamiek centraal, maar in tegenstelling tot wat vaak wordt gedacht, heeft dit op nog maar weinig plaatsen werkelijk geleid tot een toename van de dynamiek. De belangrijkste reden waarom dit niet of nauwelijks is toegenomen, wordt veroorzaakt

doordat vooral de rivierbeheerder en de waterschappen dit niet toestaan, vooral met het oog op de gevolgen voor de scheepvaart en de hoogwaterbescherming.

Dat betekent overigens niet dat de morfodynamiek van met name de Waal niet veel beter tot zijn recht is gekomen. Voor de jaren '90 werden in de agrarisch benutte uiterwaarden, zandafzettingen op de oevers na hoogwater bijna altijd keurig geëgaliseerd, genivelleerd en (bij grote hoeveelheden) afgegraven. Vervolgens werden ze weer ingezaaid en bemest om de gronden zo weer geschikt te maken voor agrarisch gebruik. Zandafzettingen waren derhalve niet meer zichtbaar.

Sinds de verwerving van oevergronden als natuurgebied mochten deze afzettingen blijven liggen, en werden ze alleen nog afgegraven als dit vanuit hydraulisch oogpunt noodzakelijk was. Ook dat 'rivierkundig' afgraven, zoals dat o.a. in de Erlecomse Waard, Gendtse Polder en Ewijkse Plaat is gebeurd, zorgde op haar beurt weer voor een vorm van morfodynamiek (of voor het resetten van de morfodynamiek). Het toelaten van zandafzettingen is bijvoorbeeld, samen met het veranderde beheer, de belangrijkste oorzaak geweest voor het grootschalige herstel van de stroomdalflora en bijbehorende insectenfauna in de Gelderse Poort (Peters e.a., 2004¹²).

Om ingrepen te kunnen beoordelen hanteert Rijkswaterstaat als rivierbeheerder sinds 2007 een rivierkundig beoordelingskader (RBK). Dit kader is in de loop der tijd een aantal malen herzien en sinds 2019 is versie 5.0 in omloop (Bron: RWS)¹³. Voor 2007 hanteerden de regionale diensten ieder hun eigen beoordelingssystematiek bij de vergunningverlening en waren de regels nog niet gestandaardiseerd. De ervaring bij veel natuurherstelprojecten is dat het RBK inmiddels zo is opgesteld dat maatregelen waarbij de dynamiek in de uiterwaarden toeneemt, vrijwel nooit vergunbaar zijn. Dynamiek houdt namelijk in dat er vaker en/of meer water door de uiterwaarden gaat stromen, bv als zomerkades worden verlaagd of verwijderd, stromende nevengeulen worden aangelegd of uiterwaarden worden verlaagd. De extra hoeveelheid water die dit aantrekt, gaat ten koste van het water dat door het zomerbed stroomt. Daardoor vermindert de snelheid van het bodemtransport van zand en kan er lokaal aanzanding optreden, wat ten koste kan gaan van de vaardiepte voor de scheepvaart.

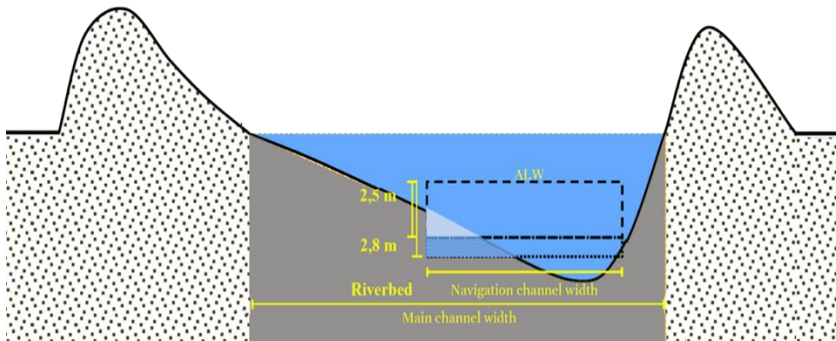
Meestal is de aanzanding beperkt, maar om geen risico te lopen dat de voor scheepvaart gegarandeerde vaardiepte en -breedte in het geding komen, wordt die ruimte niet meer geboden. Zo heeft het beoordelingskader ervoor gezorgd dat er in de Gelderse Poort in de afgelopen 30 jaar nergens ten behoeve van de natuurontwikkeling een zomerkade is verlaagd. De twee stromende nevengeulen die zijn aangelegd (Klompewaard en Bakenhof) zijn zo afgesteld dat ze slechts een zeer beperkte, en voor het ecologisch functioneren onvoldoende, hoeveelheid water onttrekken. Lokaal zijn wel enkele hoge kades verlaagd, zoals bovenstrooms in de Millingerwaard en bij de Scherpenkamp. Ook zijn er dijken teruggelegd, zoals bij de Nijmeegse Spiegelwaal en de Bakenhof in Arnhem-Zuid. Het gaat hierbij echter steeds om hoogwaterbeschermingsmaatregelen en omdat de instroomfrequentie nog steeds heel laag is heeft dit weinig invloed op het ecologisch functioneren. Een belangrijke oorzaak van de krapte in de vaarwegdiepte is het feit dat in 2006 de vaardiepte op de Boven-Rijn/Waal binnen de 180 m brede vaarweg is vergroot van 2,5 m naar 2,8 m diepgang bij OLA, de overeengekomen lage afvoer (zie figuur 25), die momenteel 1.020 m³/s bedraagt. Deze vergroting van de vaarwegdiepte was al vanaf de negentiger jaren in studie en kreeg ca. 15 jaar geleden haar beslag. De verdieping had enerzijds grote gevolgen voor het baggervolume¹⁴, wat jaarlijks gemiddeld

¹² Peters, B, G. Kurstjens & T. Teunissen, 2004. Herstel van de (stroomdal)flora in de Gelderse Poort. De Levende Natuur 105(6), pag. 237-244.

¹³ <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/@178387/rivierkundig/>

¹⁴ Havinga (2016) wijt dit aan het feit dat de vaarweg behalve verdiept, niet tevens is versmald. Bij eerdere normalisaties was dat wel gebeurd. Omdat het nu achterwege is gebleven moet de 0,3 m die de rivier 'wil' aanzanden, permanent weggebaggerd worden.

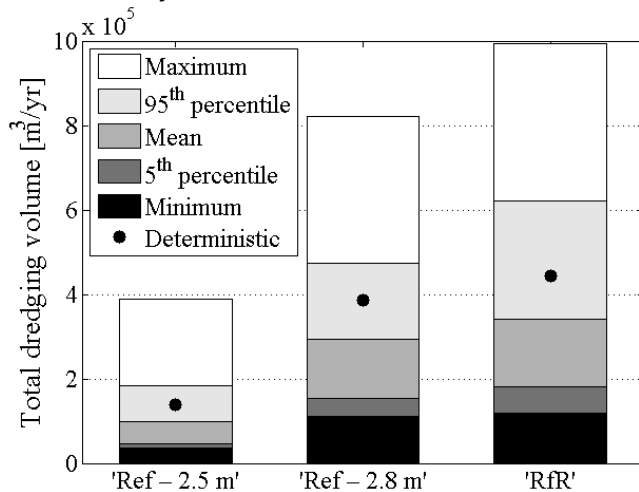
met een factor 3 toename van ca 100.000 m³ tot ruim 300.000 m³ (zie figuur 3.13). Naar verwachting neemt het baggervolume a.g.v. alle RvdR-maatregelen met 50.000 m³ toe.



Figuur 3.13. Schematische weergave van de vaarwegverdieping bij de Waal van 2,5 naar 2,8 m bij overeengekomen lage afvoer (OLA) (Bron: Van Vuren, 2016).

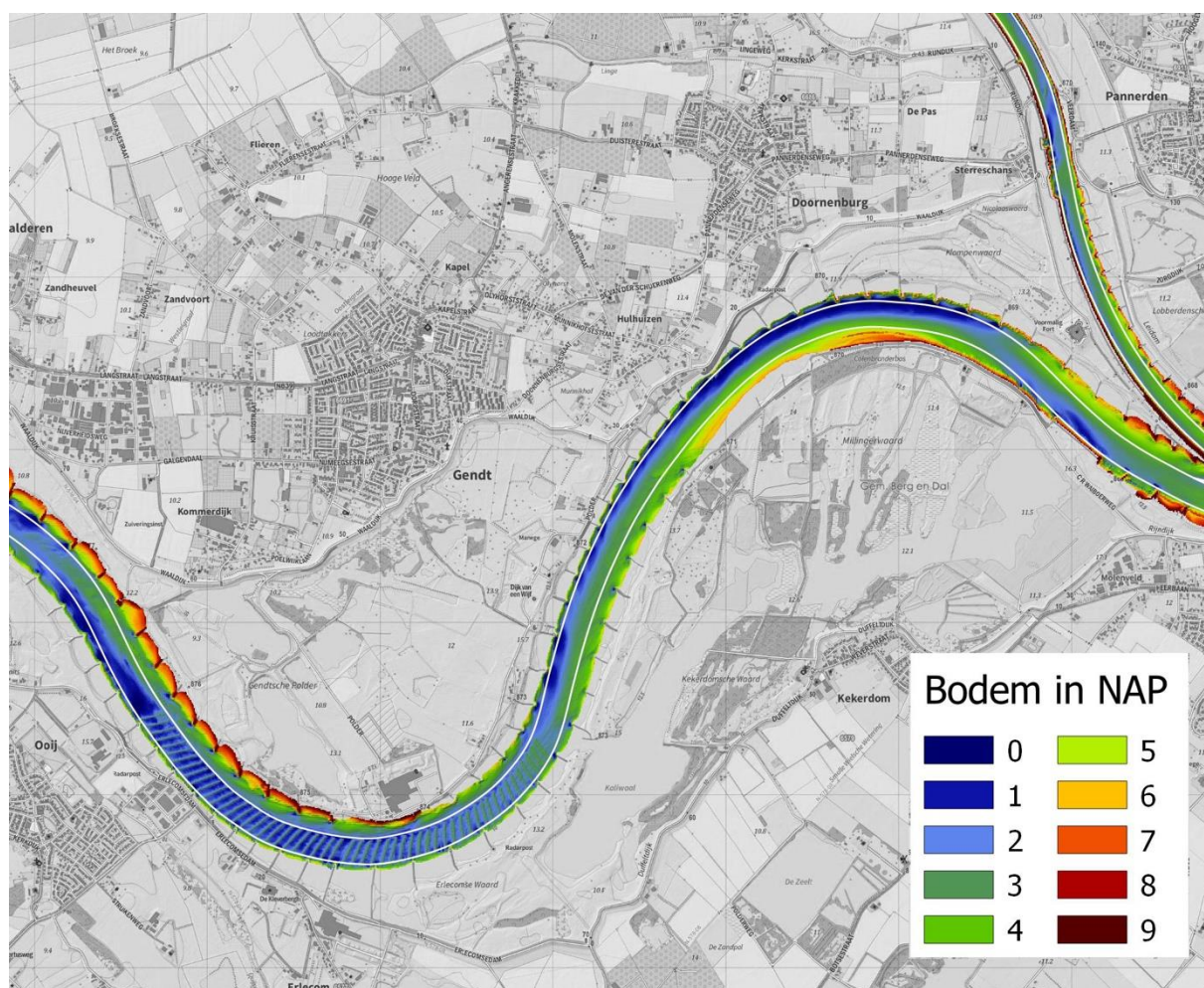


Waalbocht bij Erlecom.



Figuur 3.14. Toename van het baggervolume a.g.v. de vaarwegverdieping (Bron: v Vuren, 2016).

De verdieping naar 2,8 m zorgde er ook voor dat de speelruimte die in de rivier van nature op veel plaatsen nog aanwezig was, werd opgesoupeerd en er vrijwel geen mogelijkheden meer zijn voor ingrepen in de uiterwaarden die voor (enige) aanzanding kunnen zorgen. Uit de opgaven van de Minst Gepeilde Diepte, die Rijkswaterstaat dagelijks afgeeft, blijkt verder dat deze gemiddeld 25 tot 30 cm minder zijn dan op grond van de vaarwegklasse het geval zou moeten zijn. Zo zou bij de O.L.A. de vaardiepte 2,8 m moeten zijn in de Waal, maar in werkelijkheid is deze dan gemiddeld slechts ca. 2,5 m. Ondanks de toegenomen baggerinspanning lukt het dus niet de vaarweg op voldoende diepte te houden.



Bathymetrie rivier: RWS 2022
 ondergrond: opentopo.nl

0 1 2 km

Figuur 3.15. Dieptekaart Waal tussen Millingen en Ooij waarop de vaarweg (witte lijnen) zichtbaar is. Met name in de binnenbochten slaat zand neer, waardoor de vaargeul daar lokaal soms niet de minimaal vereiste diepte heeft. De rest van de vaargeul is dan nog wel diep genoeg. In de linkerbocht zijn evenwijdige stenen constructies op de bodem gelegd die de stroming geforceerd naar de binnenbocht sturen zodat daar geen aanzanding plaats vindt en de vaargeul wel overal even diep is.

Het baggerwerk wordt vooral uitgevoerd in de officiële 180 m brede vaarweg. Deze bevindt zich binnen de kribkoppen, die ca 230 m uiteen liggen. Buiten de vaarweg is er daarom nog ca. 80 m ruimte die niet als vaarweg geldt. De bodem hiervan wordt niet onderhouden, ligt vaak hoger en loopt min of meer geleidelijk op naar de oeverzone. Met name in binnenbochten hoort zich vaak zand op in de rivier en vanwege de onnatuurlijke diepte die de vaargeul daar heeft zijn dit de meest

gevoelige plaatsen voor aanzanding waarbij de gewenste vaarwegdiepte wordt overschreden. Vaak gaat het daar om stroken van 10 tot 20 m breed; de vaarweg is derhalve nog steeds bevaarbaar. Toch zorgen deze ondieptes er wel voor dat minst gepeilde diepte die RWS dagelijks afgeeft hierop wordt gebaseerd. Het gebeurt regelmatig dat vanwege een beperkte lokale ondiepte langs de rand van de vaarweg, veelal in een bocht, er enige tijd minder beladen kan worden, ook al blijft er binnen de 180 m brede vaargeul in principe ruimte genoeg beschikbaar om de ondiepte te ontwijken.

De rivierbeheerder ziet via het beoordelingskader ook toe op stroming van water tussen het zomer- en winterbed. Wanneer uiterwaarden worden verlaagd, of nevengeulen worden aangelegd, stroomt meer water van het zomerbed naar de uiterwaarden. Deze zogenaamde dwarsstroming kan hinder opleveren voor de scheepvaart. Dit fenomeen treedt pas op bij hoge afvoeren, die gemiddeld maar een paar dagen per jaar optreden. Toch is de norm die voor de dwarsstroming geldt zeer strak en niet lang geleden nog aangescherpt. Het gevolg is dat het vrijwel niet mogelijk is om permanent meestromende nevengeulen aan te leggen.

Een derde aspect waar de rivierbeheerder op toetst, zijn waterstandseffecten van ingrepen. Een verruiming in de uiterwaard levert doorgaans een daling van de waterstanden op, en meer verruiming (bv door meer vegetatie) een stijging. In veel uiterwaardprojecten is het passen en meten om deze effecten met elkaar in balans te brengen. Ook hier toetst de beheerder streng: de waterstand mag in de as van de rivier nergens meer dan 1 mm stijgen a.g.v. een ingreep. Specifiek in de Gelderse Poort is daar niet zo lang geleden nog aan toegevoegd dat een ingreep geen of vrijwel geen effect op de afvoerverdeling bij maatgevende omstandigheden mag hebben. Het gevolg van deze normen is dat het verlagen van zomerkades of de aanleg van nevengeulen in de Gelderse Poort onmogelijk zijn geworden.

Om ongewenste ontwikkelingen in de vegetaties te voorkomen is recent ook de vegetatielegger ingesteld, waarin nauwkeurig voor iedere uiterwaard is vastgelegd welke vegetaties (ingedeeld naar ruwheidsklassen) daar mogelijk zijn. Dit kan gezien worden als een volgende stap in het vastleggen van de uiterwaarden en een verdere beperking van de mogelijkheden voor spontane ontwikkeling.

Havinga (2016) geeft als verklaring voor de toegenomen nadruk op de handhaving vanuit het beoordelingskader dat het rivierbeheer in de afgelopen decennia sterk is veranderd. Voorheen hoefde de rivierbeheerder nauwelijks in te grijpen, omdat in die tijd de veranderingen in het riviersysteem niet tot frequente wijzigingen in bijvoorbeeld MHW-standen leidden. Het rivierbeheer werd dan ook overheersend administratief uitgevoerd (sturing via vergunningen). In de nieuwe situatie met natuurlijke vegetatie en nevengeulen, waarin veel veranderingen optreden in zomer- en winterbed, zal in de rivier zelf zowel preventief als correctief moeten worden ingegrepen, door de rivierbeheerder en terreinbeheerder. De vinger moet daarom aan de pols gehouden blijven en informatie omtrent de veranderingen in zomer- en winterbed is hierbij nodig, evenals inzicht in de effecten van de veranderingen op de diverse gebruiksfuncties.

Naast de rivierbeheerder hebben inrichtingsprojecten van de uiterwaarden ook te maken met de regelgeving van het waterschap. Net als Rijkswaterstaat zijn ook waterschappen steeds meer in protocollen gaan werken (in plaats van op basis van lokale beoordeling en expertise). Als beheerder van de dijken toetst een waterschap op de effecten van een ingreep op de waterstanden nabij de dijk en de effecten op de grondwaterstromen. In de loop der tijd zijn de normen voor deze grondwaterstromen steeds strenger geworden, terwijl de mate waarin kwel optreedt (zie hoofdstuk 4.4) alleen maar is afgenomen. Zo is de keurzone van de dijk, waarbinnen geen ingrepen worden getolereerd in de Gelderse Poort vergroot van 50 via 100 m en moeten ingrepen binnen 200 m van de dijk voorzien worden van een 1 m dikke laag klei. Daarbovenop wordt slechts een beperkte toename van kwel toegestaan (2% tijdens een 1:10 hoogwater). Dit heeft tot gevolg dat in een zandige uiterwaard ook nevengeulen die veel verder van de dijk af liggen geheel moeten worden

afgedicht met een voldoende dikke kleilaag om de kweltoename te stoppen. Voor natuur is dit zeer ongunstig omdat nevengeulen, en de soorten die er afhankelijk van zijn, juist dynamische, zandige leefgebieden nodig hebben. Bovendien worden projecten hierdoor aanzienlijk duurder in aanleg.

Ook het wegnemen van zomerkades is voor waterschappen niet wenselijk, omdat daarmee de inundatiefrequentie van de uiterwaard toeneemt en daarmee ook de kans op kwel. Dit laatste geldt ook voor uiterwaarden waar achter de zomerkade in het winterhalfjaar langer water wordt vastgehouden om zo een overstromingsvlakte in te richten. Daardoor neemt de intensiteit van de kwel, als het later in de winter hoogwater wordt, toe. Tenslotte toetst ook de dijkbeheerder op houtige vegetatie binnen een zone van max 100 m vanaf de dijk. Vanwege het risico op omwaaien en het ontstaan van gaten die de kwel kunnen vergroten.

Voor het bepalen van de gevolgen van de uiterwaardmaatregelen op de criteria die door Rijkswaterstaat en de waterschappen worden gehanteerd, is inmiddels een uitgebreid modelinstrumentarium opgezet waarmee de effecten van een ingreep zeer nauwkeurig kunnen worden bepaald. Dit nodigt extra uit om de normen heel precies te handhaven. Dit heeft geleid tot een stapeling van toetscriteria, die vrijwel allemaal negatief reageren op een toename van de dynamiek in de uiterwaarden, waardoor het inmiddels onmogelijk geworden is om dit nog te realiseren in een zodanige mate dat de riviernatuur daarvan profiteert.

3.7 Gevolgen voor de het ecologisch functioneren van de diverse ingrepen

Het keurslijf waar de rivieren in de loop der eeuwen in zijn gedwongen is nog nooit zo ver aangesnoerd als nu (zie tabel 3.2). Tal van initiatieven hebben niet kunnen voorkomen dat de essentiële componenten van riviernatuur (stromend water, inundaties, (lateraal) zandtransport en morfodynamiek) anno 2022 steeds verder af zijn komen te staan van de natuurlijke situatie (zie het kader). Terwijl de afgelopen decennia de wens voor meer riviergebonden natuur en meer dynamische landschappen toenam, zijn de mogelijkheden om deze te realiseren steeds beperkter geworden.

Tabel 3.2. Rivierkundige ingrepen sinds ca 1500 en de effecten op de dynamiek. In de laatste kolom is aangegeven welk belang met een ingreep is gediend (+: toename, -:afname, 0:geen of beperkt effect).

	Effect op peilfluctuaties	Effect op inundaties	Effect op erosie	Effect op sedimentatie	Effect op dynamische riviernatuur	Belang
Aanleg winterdijken	+	-	+	-	-	waterveiligheid & landbouw
Aanleg zomerdijken	0	-	0	+	-	landbouw
Vastleggen bedding	0	0	+ (zomerbed) - (winterbed)	- (zomerbed) + (winterbed)	-	Scheepvaart & waterveiligheid
Vastleggen oevers	0	0	-	0	-	landbouw & scheepvaart
Aanleg stuwen	-	0	0	0	-	scheepvaart & watervoorziening
Vaargeulbeheer	0	-	+ (zomerbed)	0	-	scheepvaart
Vegetatiebeheer	-	0	0	0	-	waterveiligheid
Dijkbeheer	0	-	0	0	-	waterveiligheid & landbouw

Natuurherstel heeft niet geleid tot herstel van de dynamiek

Plan Levende Rivieren had 25 jaar geleden voor ogen dat door de rivier meer ruimte te geven, de peilfluctuaties weer zouden afnemen. Dit zou dan enerzijds de peildynamiek beperken, maar doordat zomerkades zouden worden geslecht en er nevengeulen zouden worden aangelegd zou de hydrologische en morfologische dynamiek in de uiterwaarden er juist door worden vergroot. De verwachtingen waren hoog gespannen (zie figuur 3.17).



Figuur 3.17. Kaart uit *Levende Rivieren* (1992).

Als we nu in de uiterwaarden kijken wat 25 jaar Levende Rivieren heeft opgeleverd, dan zien we op veel plaatsen een sterke uitbreiding van het areaal natuur. In veel van deze nieuwe natuurgebieden is het aantal kenmerkende soorten ook weer (sterk) toegenomen. Het opvallende is echter dat deze veranderingen niet of nauwelijks gepaard zijn gegaan met een voor de riviernatuur essentiële toename van de dynamiek in de uiterwaarden. Van alle stappen die in de afgelopen eeuwen zijn gezet om de rivierdynamiek te beteugelen of de effecten ervan te beperken, zijn er, op enkele uitzonderingen na, maar weinig teruggedraaid.

De nevengeulen die zijn aangelegd, hebben vrijwel altijd een hoge drempel, waardoor ze maar enkele dagen tot maximaal enkele weken per jaar mee stromen. Er zijn wel enkele stromende nevengeulen, maar altijd met een nauwe inlaatconstructie, waardoor er relatief weinig water door de geulen stroomt en de stroomsnelheden te laag zijn. Veel zomerkades liggen nog op hun plek en als gevolg van de dalende rivierbodem neemt in een groot deel van het rivierengebied de frequentie waarmee de uiterwaarden overstroomd sterk af. Het programma Ruimte voor de Rivier heeft dan wel maatregelen gerealiseerd die ruimte opleveren voor het water, maar het gaat hierbij vooral om maatregelen die de rivier alleen bij hoge afvoeren veel ruimte geven. Dergelijke ingrepen functioneren daarom maar een paar dagen per jaar en veroorzaken slechts een beperkte en altijd tijdelijke toename van de dynamiek.

4. Hydromorfologisch functioneren

In de vorige hoofdstukken is toegelicht hoe de Gelderse Poort als gebied in de loop van tienduizenden jaren door de krachten van ijs en water is ontstaan en welke sporen dat heeft achtergelaten in het landschap. Ook is ingegaan op de veranderingen die het systeem heeft ondergaan door menselijk handelen. Daarbij zijn veel natuurlijke processen aan banden gelegd. Een deel ervan is echter nog steeds actief zij het vaak op een meer bescheiden schaal. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de belangrijkste hydromorfologische processen en patronen, wat de actuele situatie ervan is en of er herstelmogelijkheden zijn. Achtereenvolgens komen aan bod:

- de peildynamiek in het zomerbed en de uiterwaarden
- de morfodynamiek in de uiterwaarden
- de morfodynamiek in het zomerbed
- de diversiteit aan wateren in de uiterwaard
- de rivierkwel in de uiterwaarden
- de kwel in het binnendijkse gebied

4.1 Peildynamiek in het zomerbed en de uiterwaarden

Onder hydrodynamiek verstaan we de verschijnselen die samenhangen met bewegend water. In de Gelderse Poort komen we dat tegen als rivierwater, maar het kan ook veroorzaakt worden door de opwelling van grondwater en rivierkwel. In deze paragraaf worden de verschijnselen met betrekking tot de peildynamiek van het rivierwater beschreven, eerst voor zover die spelen in het zomerbed en daarna in de uiterwaarden. De kwel in de uiterwaarden en het binnendijkse gebied komen in paragraaf 4.5 en 4.6 aan de orde.

Seizoensverloop afvoer en waterstanden

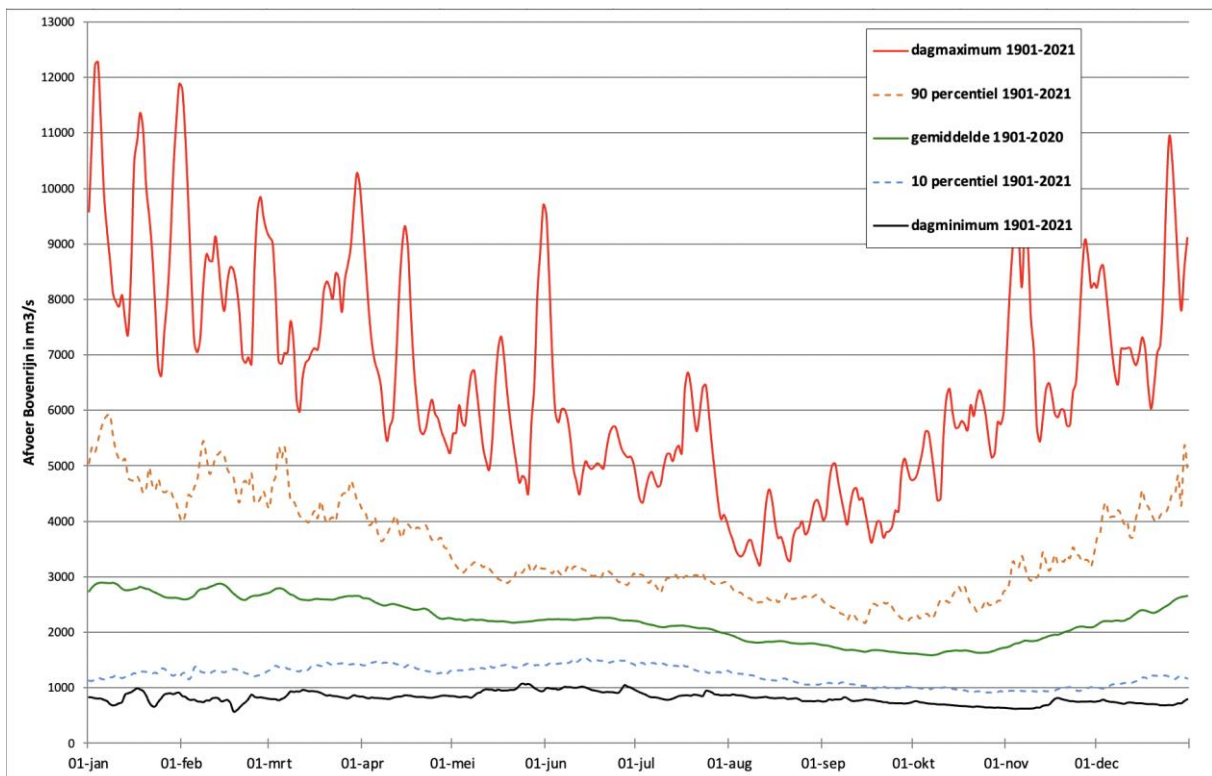
In vergelijking met andere grote Europese rivieren kent de Rijn door het jaar heen een vrij stabiel afvoerverloop. Gemiddeld over het jaar bedraagt de afvoer $2.225 \text{ m}^3/\text{s}$ en de maand met de grootste gemiddelde afvoer ($2.775 \text{ m}^3/\text{s}$ in januari) en de kleinste afvoer ($1.655 \text{ m}^3/\text{s}$ in oktober) wijken daar slechts 25% vanaf. Vooral de relatief hoge gemiddelde afvoer in het groeiseizoen ($2.095 \text{ m}^3/\text{s}$ over de periode april t/m september) valt op. Dit is het gevolg van smeltwater uit de Alpen van de sneeuw die in de voorgaande winter is gevallen. Het zorgt ervoor dat de gemiddelde afvoer in de periode mei t/m juli vrijwel stabiel is en ook dat de kans op lage afvoeren dan het kleinst is van het hele jaar (zie de lijn van het gemiddelde en de 10% lijn in figuur 4.1). Andere rivieren zoals de Maas en ook rivieren in de landen om ons heen, zoals de Loire, de Seine en de Elbe kennen een veel grotere variatie in afvoerverloop, vooral omdat het debiet in de loop van het voorjaar al snel terugloopt en laag is in de zomer.

Hoge afvoeren komen vooral in de winter voor, met de grootste kans in januari en al wat minder in februari¹⁵. Door een combinatie van smeltwater en veel regenval zijn hoogwaters ook mogelijk in het late voorjaar en de zomer. Gemiddeld worden lagere begroeide delen (vanaf $4.000 \text{ m}^3/\text{s}$) eens in de 3 tot 4 jaar in het groeiseizoen overstroomd. Vanaf $5.500 \text{ m}^3/\text{s}$ overstromen op uitgebreidere schaal delen van de uiterwaard, wat overeenkomt met eens in de 10 jaar. De Rijn onderscheidt zich hierin bijvoorbeeld van de Maas, waarin zomeroverstromingen vrijwel niet voorkomen.

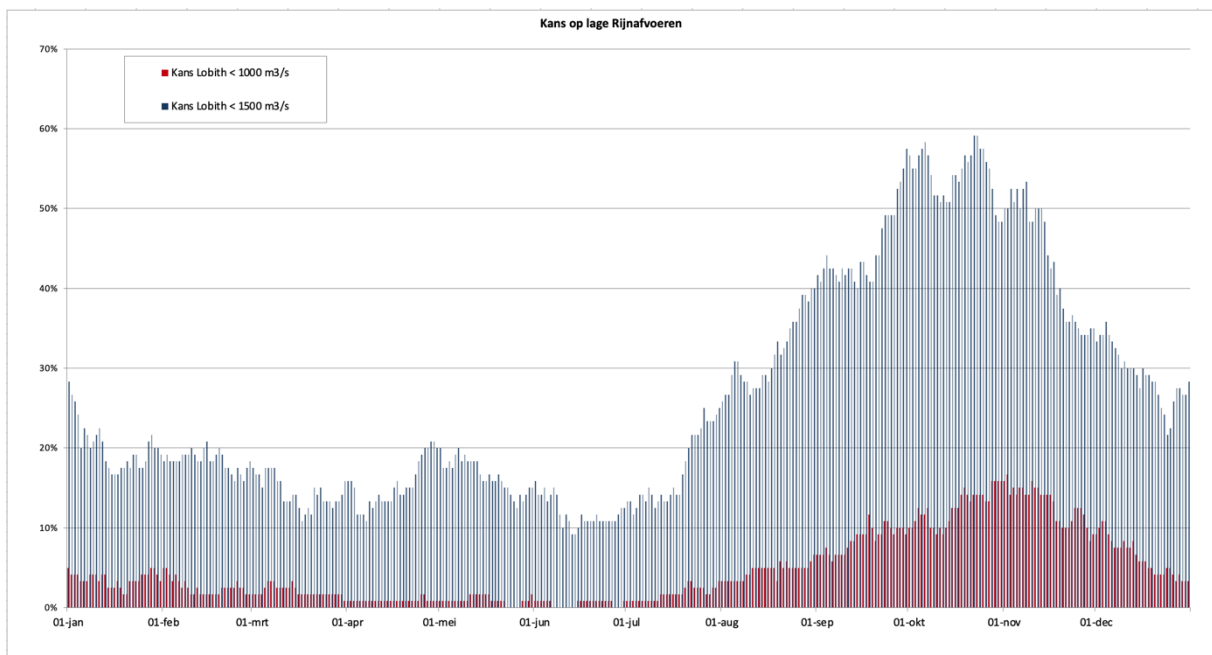
Lage en zeer lage afvoeren, waarbij droogval optreedt, bv van nevengeulen, zijn het hele jaar door mogelijk (zie figuur 4.2), ook in de winter. Veelal dateren deze lage winterstanden uit jaren met strenge winters; in het huidige klimaat is de kans hierop veel kleiner. De kans op lage afvoeren is van

¹⁵ De lijn van de hoogste afvoeren in figuur 4.1 laat een grillig verloop zien omdat hoge afvoeren relatief zeldzaam zijn en de individuele uitschieters uit de meetreeks in de figuur zichtbaar zijn.

januari t/m half juli ongeveer even groot, om daarna vrij snel toe te nemen tot een piek in oktober. Zeer lage afvoeren (onder $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$) komen t/m juli vrijwel niet voor en lopen vanaf augustus langzaam op. Ze pieken nog later in het najaar, omdat er een langere droge periode voor nodig is.



Figuur 4.1: Afvoerverloop in m^3/s in de Boven-Rijn door het jaar heen met van iedere dag: de gemiddelde afvoer, hoogste en laagste afvoer en de 10 en 90 percentiellijnen over de periode 1901-2021. Lage uiterwaarden overstromen vanaf een afvoer van ca $4.500 \text{ m}^3/\text{s}$, de hoger gelegen gebieden en bekende uiterwaarden vanaf $7.000 \text{ m}^3/\text{s}$ en hoger. Droogval van de laagste delen van de uiterwaarden en met de rivier verbonden nevengeulen treedt op onder de ca $1.100 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 4.2. Kans op optreden van een lage of zeer lage Boven-Rijnafoer gedurende het jaar.

Ondanks dat de gemiddelde waarden over het jaar heen vrij stabiel zijn, kent de Rijn wel grote waterstandschommelingen. In de Gelderse Poort zijn deze het grootste van het hele Nederlandse rivierengebied, met bij Lobith een gemiddelde jaarlijkse variantie van iets meer dan 7 meter. Over de hele meetreeks bezien bedraagt de variatie zelfs ruim 10 meter tussen de laagste opgetreden waterstand (6,53 m +NAP in 2018) en de hoogste opgetreden stand (16,90 m+ NAP in 1926). De amplitudo neemt in benedenstroomse richting af, maar blijft binnen de Gelderse Poort overal nog vrij groot. Langs de Waal is de afname het kleinst en is er ook bij Nijmegen nog een amplitudo van ca 9,5 meter. In de andere Rijntakken is deze minder groot, met langs de Neder-Rijn een amplitudo die afneemt van ca 9 m bij Pannerden tot ca 7 m bij Arnhem en langs de Boven- IJssel van ca 8 m bij Westervoort tot 7 m bij Dieren. Vanwege de bodemdaling van de rivier (zie paragraaf 4.3) is de amplitudo sinds 1900 met ca 2 m toegenomen in de Boven-Rijn en Waal, omdat de lage waterstanden meer beïnvloed worden dan de hoge.

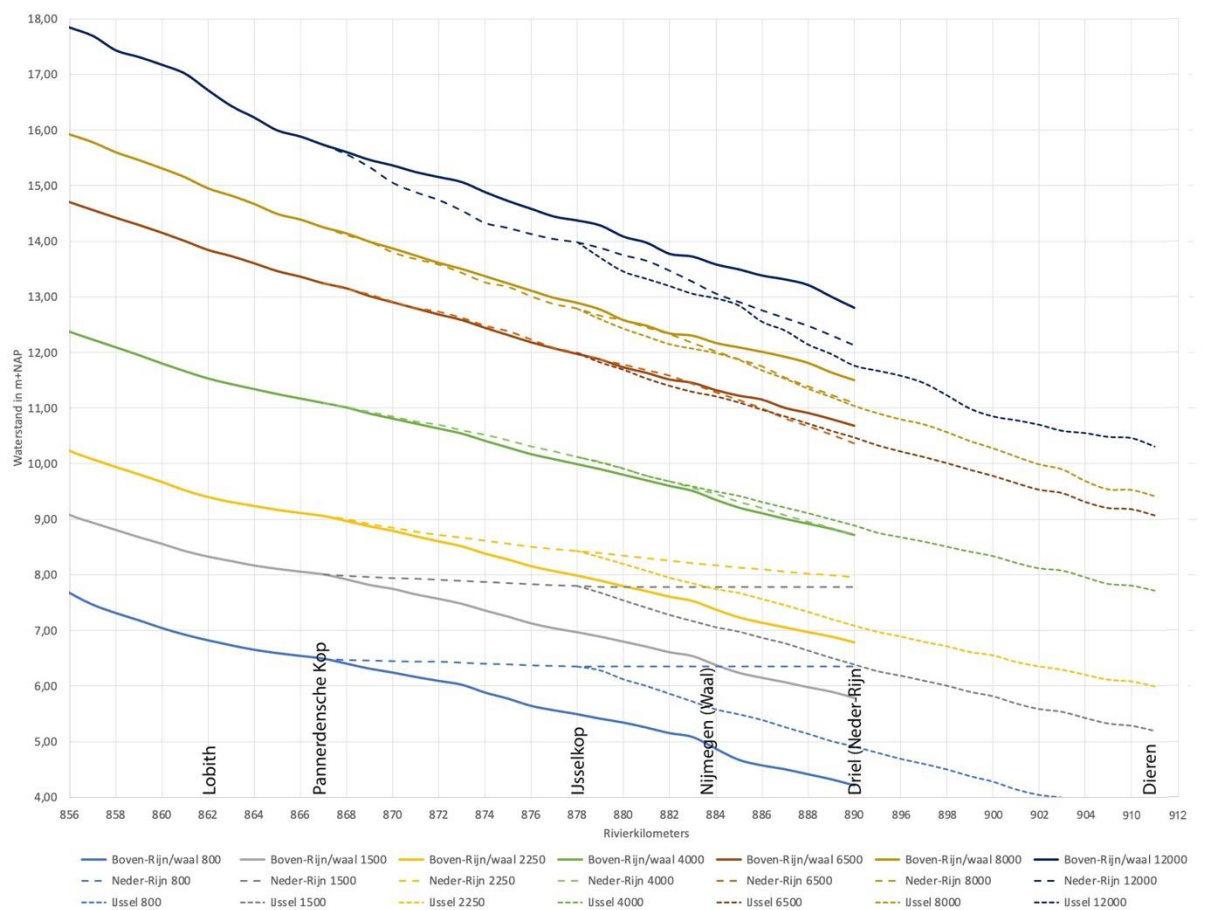
Gestuwde waterstanden in de Neder-Rijn en afvoerverdeling

In een deel van de Gelderse Poort is bij gemiddelde en lage rivierafvoeren het waterpeil gestuwd. Zodra de waterstand bij Lobith onder de 10 m +NAP zakt, sluit de stuw van Driel stapsgewijs, wat de doorvoer naar de Neder-Rijn stroomafwaarts beperkt en de waterstand stroomopwaarts opstuwt. In figuur 4.3 is dit zichtbaar aan de verhanglijnen van de Neder-Rijn bij de 3 lagere afvoeren. Het stuwen heeft tot gevolg dat de waterstanden in het hele traject vanaf de Pannerdensche Kop minder ver uitzakken en ook dat de stroomsnelheid in dit traject gaandeweg afneemt. Deze effecten zijn het grootst als de stuw geheel gesloten is. Vanwege dit stuwbeheer ontvangt de Neder-Rijn bij lage Rijnafoeren vrijwel geen water en ontvangen de IJssel en de Waal extra water, waardoor lage waterstanden hier minder laag worden (zie voor verdere toelichting paragraaf 3.5).

De stuw van Driel is op een zodanige locatie in het riviersysteem gebouwd dat de waterverdeling over de 3 Rijntakken ermee kan worden gestuurd. Zonder de stuw zou bij in het hele afvoerbereik ca. 66% via de waal worden afgevoerd, 20% via de Neder-Rijn en 14% via de IJssel. Door de stuw te sluiten wordt de afvoer die anders naar de Neder-Rijn zou gaan, herverdeeld over de IJssel en de Waal (zie tabel 4.1). De Waal profiteert het meest en ontvangt b.v. bij een lage Boven-Rijnafvoer van 1.000 m³/s ca 130 m³/s extra en de IJssel ca 50 m³/s. Dit zorgt er in de IJssel voor dat de waterstanden bij deze lage afvoer ca 80 tot 60 cm minder uitzakken dan in een situatie zonder de werking van de stuw. Formeel heeft Rijkswaterstaat met de waterschappen afgesproken dat voor de Neder-Rijn een minimale afvoer van 30 m³/s geldt. Bij de lagere Boven-Rijnafoeren (< 1.100 m³/s) wordt deze afvoer in de praktijk niet gehaald en dan schommelt de afvoer in de Neder-Rijn tussen de 20 en 25 m³/s en soms nog wat minder. In 2022 werd de afvoer naar de Neder-Rijn zelfs enige weken geheel stopgezet.

Tabel 4.1. Afvoerverdeling over de riviertrajecten bij enkele jaarlijks optredende situaties. De stuw bij Driel is tot een Boven-Rijnafvoer van ca 1.800 m³/s (150 d/j) vrijwel geheel gesloten en tot een afvoer van 2.750 m³/s (280 d/jr) gedeeltelijk gesloten. Dit beïnvloedt de afvoerverdeling bij de lage en gemiddelde afvoeren.

	Boven-Rijn	Waal		Pann. Kanaal – Neder Rijn		Neder-Rijn		IJssel	
	afvoer	afvoer	perc.	afvoer	perc.	afvoer	perc.	afvoer	perc.
Dalafvoer	1.040	825	79%	215	21%	25	2%	190	18%
10%	1.155	900	78%	265	23%	25	2%	240	21%
50%	1.945	1.425	73%	520	27%	110	6%	350	18%
Gemiddeld	2.210	1.560	71%	650	29%	300	14%	350	16%
90%	3.570	2.370	66%	1.200	34%	650	18%	550	15%
Piekafvoer	6.540	4.340	66%	2.200	34%	1.270	19%	930	14%



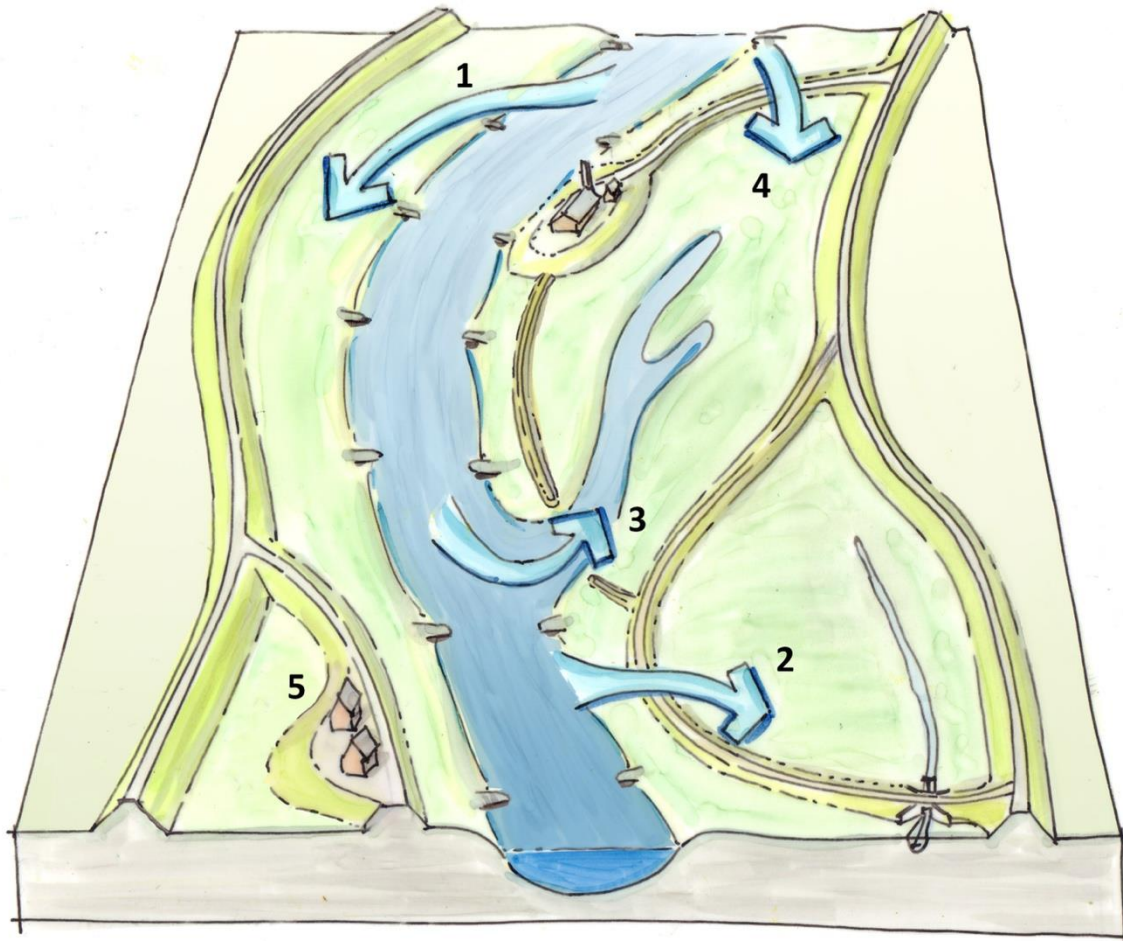
Figuur 4.3. Verhanglijnen van de waterspiegel in de 3 riviertrajecten vanaf Lobith bij Boven-Rijnafvoeren tussen 800 en 3.000 m³/s. De waterstand in Boven-Rijn/Waal is met een doorgetrokken lijn weergegeven, in Pannerdensch Kanaal/Neder-Rijn met een streepjeslijn en in de IJssel met een puntjeslijn. De verhanglijnen zijn achter elkaar geplaatst, d.w.z. dat vanaf de Pannerdensch Kop de Neder-Rijn aftakt en vanaf de IJsselkop de IJssel.

Van onder naar boven zijn afgebeeld de Boven-Rijnafvoeren van 800 m³/s (extreem laag, eens in de ca 5 jaar), 1.500 m³/s (gemiddelde zomerafvoer), 2.250 m³/s (jaargemiddelde afvoer), 4.000 m³/s (licht verhoogde afvoer), 6.500 m³/s (gemiddelde jaarlijkse hoogste afvoer), 8.000 m³/s (zeer hoge afvoer, eens in de 5 jaar) en 12.000 m³/s (extreem hoge afvoer, eens in de 50 jaar).

Tot en met de lijn van 2.250 m³/s is de stuw van Driel in werking en wordt het water in het Pannerdensch Kanaal en de Neder-Rijn opgestuwd. Bij een afvoer van 3000 m³/s is de werking van de stuw vervallen en lopen de lijnen wel ongeveer gelijk op. Bij afvoeren vanaf 6.500 m³/s is de waterstand van de Waal relatief het hoogste.

Omschrijving van de processen die samenhangen met peildynamiek in de uiterwaarden

De waterstandsfluctuaties in het zomerbed zijn merkbaar in de uiterwaarden, o.a. in wateren die in open verbinding staan met het zomerbed en doordat buitendijkse gebieden overstromen als de rivier hoger dan bank-full staat. Ook via het grondwater dringen de fluctuaties door tot in de uiterwaarden. Dit wordt verder beschreven in paragraaf 4.5. Of rivierwater de uiterwaarden kan bereiken is niet alleen afhankelijk van de rivierafvoer, maar vooral ook van de inrichting van de uiterwaard, bv of er zomerkades liggen. Er kunnen 5 types worden onderscheiden (zie figuur 4.4):



Figuur 4.4. Typen uiterwaarden in relatie tot de overstromingsdynamiek.

Type 1. Oorspronkelijke situatie als er geen kades liggen. Zodra het water boven de oever uitstijgt, overstroomt de uiterwaard en al snel stroomt het gebied ook mee.

Type 2. Het klassieke beeld, zoals dat in de 19^e eeuw op veel plaatsen is aangelegd, is de ringkade met benedenstrooms een in- en afwateringsluis. Het beheer van de sluis bepaald dan wanneer rivier de uiterwaard in stroomt.

Type 3. Bij een deel van de uiterwaarden sluit de zomerkade niet de hele uiterwaard af, maar is er benedenstrooms een opening, soms gecombineerd met een eenzijdig aangetakte nevengeul. Dit is vaak toegepast in het kader van Ruimte voor de Rivier, zoals bv de Millingerwaard, de Spiegelwaal en de Meinerswijk.

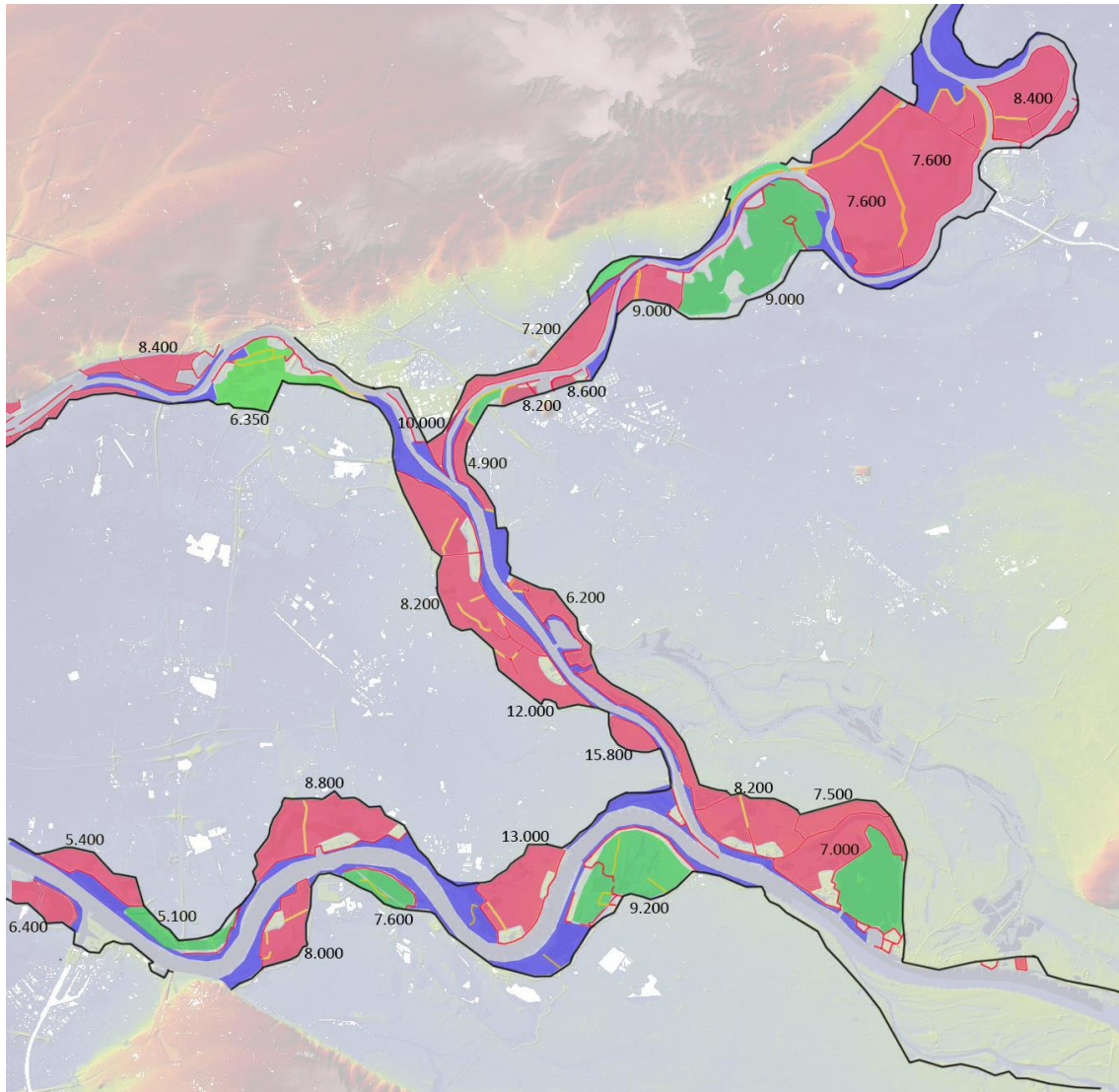
Type 4. Een variant op type 2 en 3, waarbij de kade aan de bovenstroomse zijde veel hoger is en doorstroming pas vanaf een zeer hoge afvoer optreedt.

Type 5. In de Gelderse Poort zijn er enkele uiterwaarden met een opvallend hoge kade die zelden of nooit overstroomt.

Connectiviteit van uiterwaarden in de Gelderse Poort

In figuur 4.5 zijn de verschillende typen toegedeeld aan de uiterwaarden van de Gelderse Poort, waarbij de kleuren verwijzen naar de typering uit figuur 4.4. De typen 4 en 5 gebieden zijn niet specifiek aangegeven, maar aan de hand van de afvoer is zichtbaar gemaakt welke uiterwaarden een hoge kade hebben en welke niet. Niet gekleurde delen van de uiterwaarden zijn terpen, die alleen bij zeer hoge waterstanden overstroomt. Figuur 4.5 laat duidelijk zien dat onbekade gebieden, die onder directe invloed staan van de fluctuaties in de rivier, weinig voorkomen (blauw, type 1, slechts ca 5% van het areaal). De meeste gebieden liggen langs de Waal, waar het dan gaat om de

stroomafwaartse delen van de grote meanderbochten, die toen de kades werden aangelegd nog relatief laag gelegen waren en niet interessant voor de landbouw. Langs de Waal staat ook de Klompenwaard direct onder invloed van de rivier. Het is het enige natuurontwikkelingsproject in de Gelderse Poort waar de dynamiek in de uiterwaard actief (aanleg nevengeul) is vergroot, en waarbij ook de doorstroming is toegenomen. In de andere riviertrajecten gaat het slechts om enkele smalle stroken die buitenkaads zijn blijven liggen. Alleen stroomafwaarts van de Fraterwaard is op beide oevers geen doorgaande kade meer aanwezig. In de Olburgerwaard is de zomerkade vanwege zandwinnings doorgegraven.



Figuur 4.5. De hydrologische karakteristiek van de uiterwaarden in de Gelderse Poort. De cijfers geven de afvoer aan waarbij de uiterwaard mee stroomt. De rode lijnen zijn de ringkades en de oranje lijnen eventuele tussenkades.

Blauw: onbekade uiterwaarden (type 1); Rood: bekade uiterwaarden met sluisje (type 2); Groen: bekade uiterwaarden met open verbinding of lage kade benedenstrooms (type 3).

De bekade gebieden met een sluis (rood, type 2) beslaan het grootste areaal. Het beheer van de sluis bepaalt hier de frequentie waarmee de uiterwaarden overstroomd. Er zijn een aantal mogelijkheden:

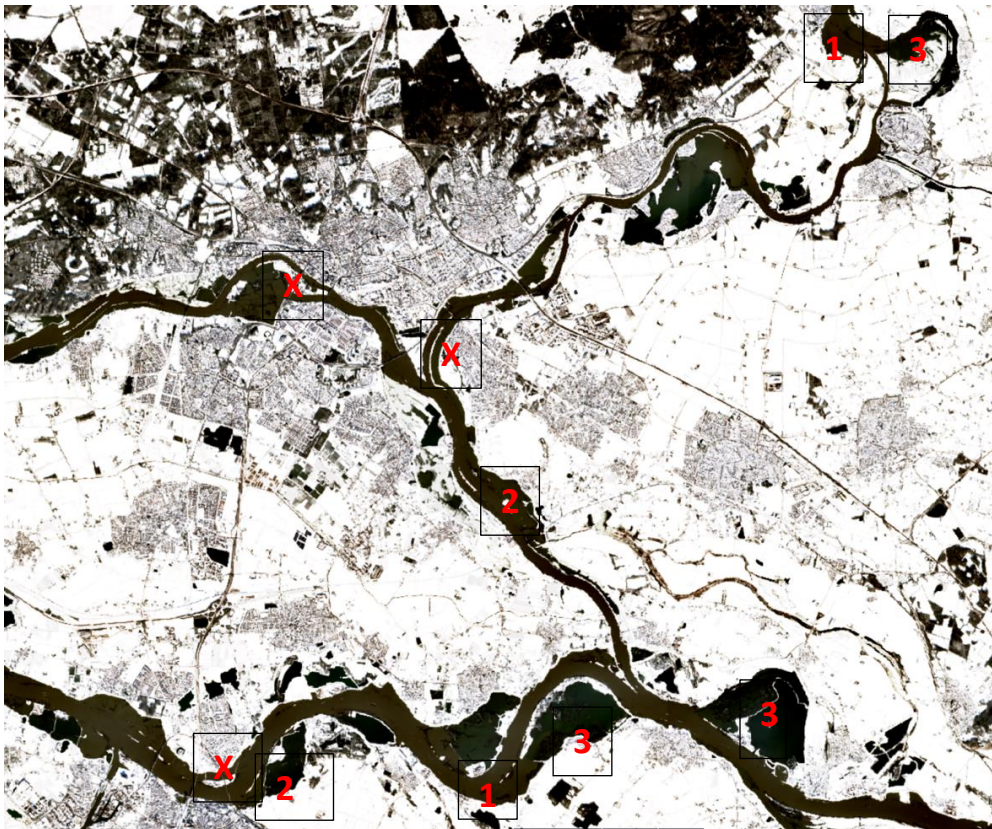
- A. De sluis is gesloten in het groeiseizoen (bv. Gendtse Waard en Oosterhoutse Waard) en altijd geopend in het winterhalfjaar (meestal van 1/11 t/m 31/3). In deze situatie is de overstromingsfrequentie maar weinig lager dan die van de onbekade uiterwaard.

B. De sluis is altijd gesloten, behalve bij opkomend water als de kade dreigt te overstromen (bv. Bemmelse waard, Lobberdensche waard, Huissensche waard en vrijwel alle bekade gebieden langs de IJssel). In de situatie dat de sluis in principe dicht is, bepaalt de kadehoogte of er water in kan stromen. Deze hoogte varieert (zie de afvoercijfers in figuur 4.5) maar ligt vaak boven de 7.500 tot 8.000 m³/s zodat een overstroming maar eens in de 3 tot 5 jaar plaats zal vinden.

Een van de effecten van uiterwaarden die instromen via een sluis is dat de instroom relatief langzaam verloopt en de peilstijging in de uiterwaard daarom tot wel een meter achterloopt op het niveau van de rivier. Bij een korte hoogwatergolf bereikt het binnenkaadse peil ook nooit het buitenkaadse rivierpeil.

Bij enkele uiterwaarden is de kade aan de stroomafwaartse zijde open en kan rivierwater vanaf een relatief lage stand de uiterwaard instromen (groen, type 3). Bij deze situatie zijn er 3 mogelijkheden:

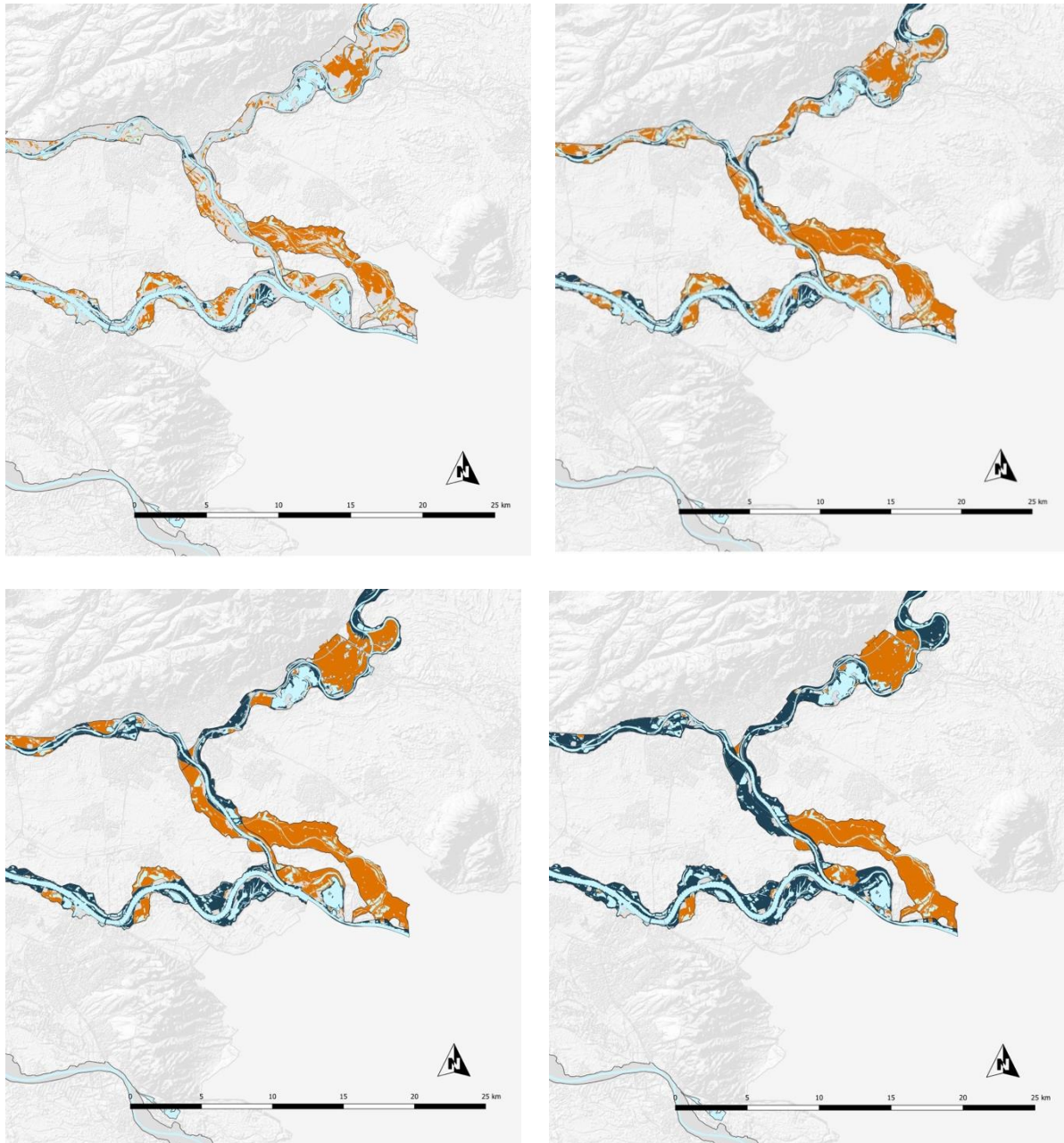
1. Via open water zodat de peilfluctuaties direct ook naar de uiterwaard worden doorgegeven (bv. Spiegelwaal bij Nijmegen).
2. Via open water met een kade in de benedenstroomse uitgang die bij lage waterstanden een deel van het jaar de uiterwaard isoleert van de peildynamiek (bv. Millingerwaard, waar er ca 200 dagen per jaar een verbinding is).
3. Via een landverbinding, een sloot of een geul die al snel droogvalt, waardoor de uiterwaard slechts een beperkt deel van het jaar in verbinding staat (bv. de Meinerswijk waar er ca 40 dagen per jaar een verbinding is en bij de Bisonbaai, waar er 50 dagen per jaar een verbinding is).



Figuur 4.6. Satellietfoto van een besneeuwde Gelderse Poort tijdens een periode van hoogwater (ca. 7.300 m³/s, frequentie eens in de 3 jaar) waarbij de hydrodynamiek bij hoogwater goed zichtbaar is: o.a. de Erlecomse waard langs de Waal (type 1 volgens fig. 4.5), de Loowaard langs de Neder-Rijn (type 2) en de Fraterwaard (type 2) en de Dierense uiterwaard (type 1) langs de IJssel zijn geheel overstroomd. De benedenstrooms aangetakte uiterwaarden zijn grotendeels gevuld met water, maar stromen niet mee, o.a. de Millingerwaard en de Oude Waal bij Pannerden (beide type 3). Enkele Ruimte voor de Rivierprojecten stromen wel mee: de Spiegelwaal bij Nijmegen, de Hondsbroekse Pleij bij de IJsselkop en de Meinerswijk bij Arnhem (gemarkeerd met een X).

Potentieel overstromde gebieden

Als gevolg van de kades zijn er grote delen van de uiterwaard die bij opkomend water enige tijd lager liggen dan de waterstand in de rivier. In figuur 4.7 zijn deze zgn. potentieel overstromde gebieden in oranje aangegeven. Deze gebieden ontvangen, zolang ze niet overstromen, rivierkwel en water dat is ingevangen blijft er vaak lang staan omdat het alleen door inzijging weg kan. Met name de gebieden die al vanaf ca 4.500 m³/s of eerder potentieel zijn overstromd zijn geschikt om water na een overstroming langer vast te houden omdat ze relatief laag liggen en daarom vrijwel jaarlijks overstromen.



Figuur 4.7. Gebieden die (van linksboven naar rechtsonder) bij resp. 4.500, 5.500, 6.750 en 8.000 m³/s overstromd zijn (blauw) en potentieel overstromd zijn (oranje). Deze laatste gebieden liggen lager dan de rivierwaterstand maar zijn via een kade afgesloten van de rivier.

Afname in peildynamiek in de uiterwaarden

De overstromingsfrequentie van de uiterwaarden is in de loop van de afgelopen 100 tot 150 jaar sterk veranderd (zie tabel 4.2). Onbekade gebieden overstromden vroeger ca 45 dagen per jaar,

terwijl dat tegenwoordig nog maar iets meer dan 10 dagen is. De oorzaak is de zomerbeddaling, waardoor de waterstand bij dezelfde afvoer tegenwoordig veel minder hoog komt (zie voor verdere toelichting paragraaf 4.3). Eenzelfde afname van de overstromingsfrequentie zien we bij de hogere delen in deze uiterwaarden, zoals de oeverwallen, waarvan de frequentie met een factor 3 is afgenomen.

Tabel 4.2. Afvoeren waarbij uiterwaarden nabij Lobith historisch gezien en in de huidige situatie overstromen met frequentie in dagen. Zie toelichting in de tekst.

	Hoogte m+ NAP	Oorspronkelijk afvoer in m ³ /s	Dagen per jaar	a.g.v. zomerbeddaling afvoer in m ³ /s	Dagen per jaar
onbekade uiterwaard	12,5	3.250	45	5.000	12
onbekade oeverwal	13,5	4.500	17	6.100	6
oorspronkelijke bekading	14,5	5.500	8	7.500	1,5
opgehoogde kade	15,5	7.500	1,5	9.300	0,5

Bij de bekade uiterwaarden is de situatie vergelijkbaar. Rond het jaar 1900 overstromden de meeste zomerkades bij een afvoer van 5.500 à 6.000 m³/s, gemiddeld 8 dagen per jaar, wat betekent dat het jaarlijks gebeurde en zo eens in de 10 jaar in het groeiseizoen. Vanwege de zomerbeddaling is de afvoer waarbij de kades overstromen nu gestegen naar gemiddeld 7.500 m³/s en is de kans op een zomerinundatie vrijwel uitgesloten.

In de loop van de 20^e eeuw zijn veel zomerkades ook nog geheel of gedeeltelijk opgehoogd, vaak om de bereikbaarheid van woningen en steenfabrieken te verbeteren. Dit had tot gevolg dat de kades niet langer bij 5.500 à 6.000 m³/s overstromden, maar pas vanaf 7000 à 7500 m³/s. Vanwege de bodemdaling van het zomerbed overstromen deze opgehoogde kades nu pas boven 9.000 m³/s en er zijn zelfs kades die pas boven de 11.000 m³/s overstromen. Ook Ruimte voor de Rivierprojecten hebben bijgedragen aan een afname van de overstromingsfrequentie. Zo is na de dijkteruglegging bij Nijmegen de afvoer waarbij bekade uiterwaarden stroomopwaarts van Nijmegen overstromen afgenomen met ca. 150 m³/s.

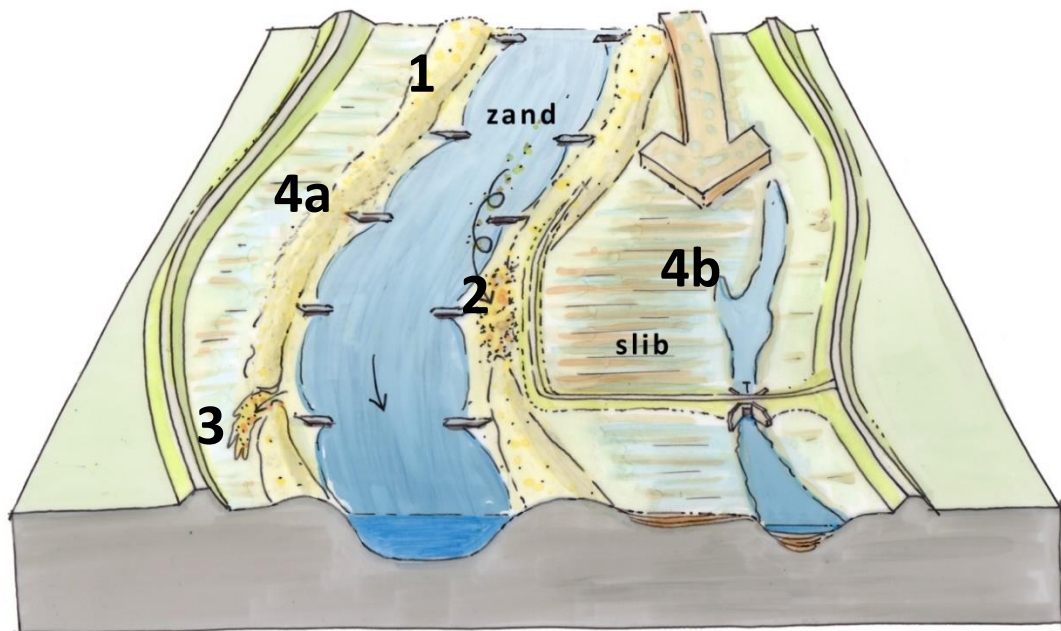
Peildynamieken de gevolgen voor de ecologie

- Het overstromen van de uiterwaarden is een belangrijke factor voor het ecologisch functioneren van het buitendijkse gebied. Het voorkomen van bepaalde vegetaties is dan ook vaak direct gelinkt aan de overstromingsfrequentie.
- Bij de Rijn zijn ook de soms optredende zomerhoogwaters een bij het systeem passend fenomeen dat grote invloed zal hebben gehad op het voorkomen van bepaalde soorten. De aanleg en het ophogen van zomerkades heeft er daarom voor gezorgd dat voor het rivierengebied minder kenmerkende soorten, die de peildynamiek slecht verdragen, worden bevoordeeld.
- De overstromingsfrequentie van veel uiterwaarden is daarnaast door de zomerbederosie in de afgelopen 150 jaar en recent in ook door Ruimte voor de Rivierprojecten sterk verkleind. Ook dit heeft invloed op het voorkomen van soorten.
- Uiterwaarden die via een benedenstroomse verbinding of sluis zijn aangetakt, vullen zich nog regelmatig met water, maar stromen niet of zelden mee. Vooral de mate van sedimentatie wordt hierdoor beperkt.
- In de Oude Waal bij Nijmegen wordt de historische sluis benut om water langer vast te houden, wat het mogelijk maakt om deze in te zetten voor het beheer van het gebied als overstromingsvlakte. De sluis is alleen open om water in te laten tijdens een hoge rivierafvoer, waardoor het gebied achter de kade langer nat blijft.

4.2 Morfodynamiek in de uiterwaarden

Omschrijving van de processen die samenhangen met morfodynamiek in de uiterwaarden

Morfologisch is er in de uiterwaarden van de Gelderse Poort, in de huidige, genormaliseerde situatie, vooral sprake van sedimentatie. Erosie speelt nog maar op kleine schaal een rol en is altijd beperkt van omvang. In figuur 4.8 is schematisch weergegeven hoe het proces van sedimentatie plaats vindt. Als de uiterwaarden tijdens hoogwater overstromen, bezinken zand en klei die met het rivierwater worden meegevoerd. De stroomsnelheid van het water bepaalt welk materiaal waar bezinkt. Zand slaat vrijwel meteen neer op plaatsen waar de snelheid van het stromende rivierwater plotseling afneemt. Lokaal kunnen daarbij in één hoogwater lagen tot enkele decimeters dik worden neergelegd. Klei wordt meegevoerd tot in de uiterwaardvlakte en zakt daar geleidelijk uit, vooral op plaatsen waar het water stilvalt. Ook vegetatie kan slib invangen als het water er doorheen stroomt. Kades die delen van de uiterwaarden afschermen, verhinderen enerzijds dat water en sediment de uiterwaard kunnen bereiken, maar als ze eenmaal overstromen fungeren ze als een groot invanggebied voor klei en kan er tijdens een hoogwaterperiode tot 1 of 2 cm klei bezinken in de meest stroomluwe delen.



Figuur 4.8. Morfologische processen waarbij sediment wordt afgezet in de uiterwaarden:

- 1. Overslag van zand in de kribvakken, op de oever en de oeverwal*
- 2. Lokaal grind in de bochten a.g.v. de kurketrekkerstroom*
- 3. kortsluitgeultje in de oeverwal*
- 4. Klei verder van de rivier af: vastgelegd door de vegetatie (4a) of achter een zomerkade waar het water stilvalt (4b).*

Als sediment eenmaal in de uiterwaard is afgezet, vindt in de actuele situatie nog maar zelden erosie plaats. Plaatsen waar vers sediment is afgezet, raken al snel weer begroeid, waardoor de bodem wordt vastgelegd. Uitzonderingen hierop zijn locaties waar tijdens een opkomend hoogwater water naar de achtergelegen lageregelegen uiterwaard wordt gevoerd via geulen in de oeverwal. Als het verhang groot genoeg is, kan de stroomsnelheid zo groot worden dat door terugschrijdende erosie erosiekolken of doorbraakgeultjes ontstaan.

Omvang sedimenttransport

De zandfractie in de Rijn is voornamelijk afkomstig uit het buitenlandse deel van het stroomgebied. In het tijdvak 1990-2010 werd via de Boven-Rijn per jaar gemiddeld 400.000 (+/- ca. 50%) m³ zand Nederland binnen gevoerd¹⁶. Daarvan stroomt het grootste deel 345.000 (+/- ca. 50%) m³ via de Waal en de rest via het Pannerdensch Kanaal. De Waal ontvangt dus relatief het meeste, want terwijl deze riviertak 65% van het rivierwater afvoert, wordt daarmee 85% van het zandtransport doorgevoerd. De Neder-Rijn ontvangt bij de IJsselkop 53.000 (+/- ca 50%) m³ en de IJssel 29.000 (+/- ca 50%) m³. Bij deze twee riviertakken is de verhouding tussen debiet en zandvolume wel ongeveer vergelijkbaar. Zand wordt getransporteerd zodra de stroomsnelheid groter is dan 0,5 m/s (fijn zand) tot 0,7 m/s (grof zand) en verplaatst zich vooral 'stuiterend' over de bodem. Naarmate de afvoer toeneemt wordt een steeds groter deel in de waterkolom opgenomen. De stroomsnelheden in de uiterwaarden zijn momenteel vrijwel nergens hoog genoeg om zandtransport op gang te brengen, ook niet in de nevengeulen.

Het slibvolume dat de Rijn doorvoert is veel groter dan het zandvolume: tussen 1990 en 2010 kwam 2,1 Mton klei via de Boven-Rijn het land binnen¹⁶. Tijdens lager dan gemiddelde afvoeren is het volume slib relatief gering (10-30 g/m³). Er wordt dan maar weinig slib vanuit de zijbeken stroomopwaarts in het systeem naar de rivier gevoerd. Slib kan, mits het los op de bodem ligt, al in beweging komen zodra het water licht gaat stromen. Bij toenemende afvoer neemt het gehalte in het water sterk toe. Dit fijne materiaal zweeft in het water en wordt over grote afstanden getransporteerd. Slib kan tijdens een periode van verhoogde afvoer vanuit het hele stroomgebied tot in Nederland gevoerd worden. De slibfractie is het grootst tijdens hoogwaterperioden, tot 1.200 g/m³ bij een Boven-Rijnafvoer van 6.000 m³/s. Omdat het slib vooral zwevend wordt getransporteerd volgt de verdeling over de verschillende Rijntakken ongeveer de verdeling van het water, d.w.z. ca 70% door de Waal en 15% door de beide andere riviertakken.

Onderweg zijn de hoeveelheden aan veranderingen onderhevig. Door erosie, van voornamelijk de bedding van het zomerbed in de Boven-Waal, het Pannerdensch Kanaal en de Boven-IJssel, neemt het volume aan zand in benedenstroomse richting toe. Zo bedraagt de bodemerosie in de Waal tot aan Tiel per jaar ca 250.000 m³, wat betekent dat het volume onderweg met ca 60% toeneemt; waarvan een groot deel uit de Gelderse Poort afkomstig is. De hoeveelheid sedimenttransport varieert van jaar tot jaar en is sterk afhankelijk van de afvoer.

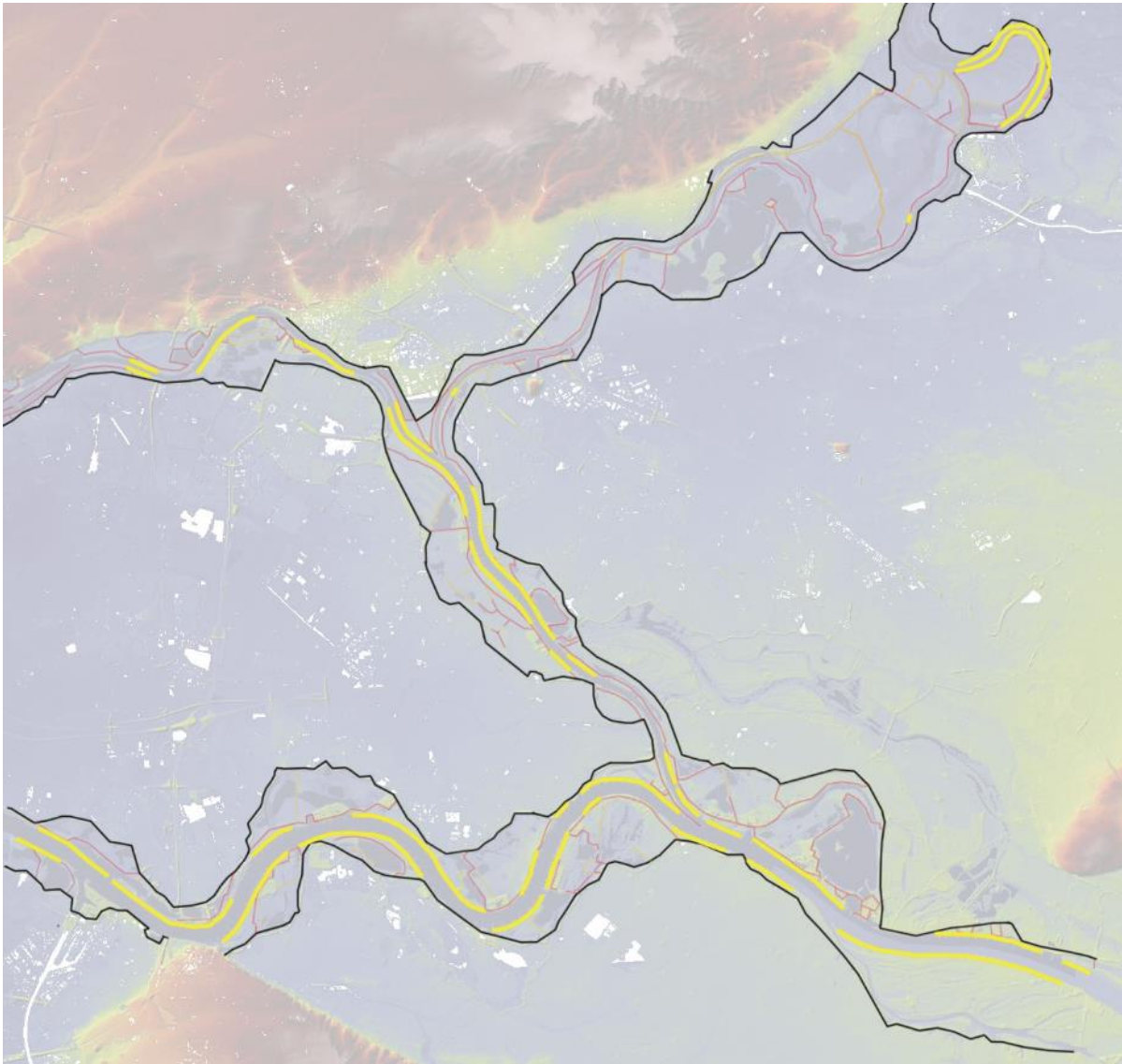
Zandafzettingen en rivierduinen

Het grootste deel van het sedimenttransport blijft aan het oog onttrokken omdat het onder water in het zomerbed plaats vindt. Pas tijdens hoogwaters vindt uitwisseling plaats met de uiterwaard. Zand wordt dan vanuit het zomerbed naar de oeverzone gevoerd. Veelal gebeurt dat via tussenstappen, waarbij het zand vanuit de rivier via het kribvak en het zandstrand naar de oeverwal wordt gevoerd. Daar waar kribvakstranden ontbreken of zijn vastgelegd met stenen is de kans dat zand vanuit de rivier de oeverwal bereikt veel kleiner. In figuur 4.10 zijn de riviertrajecten weergegeven waar de oever zandig is. Zandige kribvakken en stranden zijn als volgt verdeeld:

- Boven-Rijn: ca 80% van de oevers. Zandstranden ontbreken op bij bebouwing en havens.
- Waal: ca 75% van de oevers. Zandstranden ontbreken op plaatsen met bebouwing, steenfabrieken, havens en waar de winterdijk grenst aan het zomerbed. Ook liggen er verspreid enkele kribvakken die zijn versterkt met stenen.
- Pannerdensch Kanaal. ca 20% zandige oevers. De oevers bestaan op een zuidelijk traject na uit dammen en met stenen versterkte kribvakken.
- IJssel: <5% zandige oevers. In het hele traject tot aan Dieren slechts 2 kribvakken met een zandige oever. Daarnaast bestaat de afgesneden meanderbocht rond de Fraterwaard uit zandige oevers. Overige oevers bestaan uit met stenen vastgelegde gestrekte oevers en kribvakken.

¹⁶ Lit. Barneveld, H. M.Boersema, F. Schuurman en H. de Vriend (2022). *Het Verhaal van het sediment*.

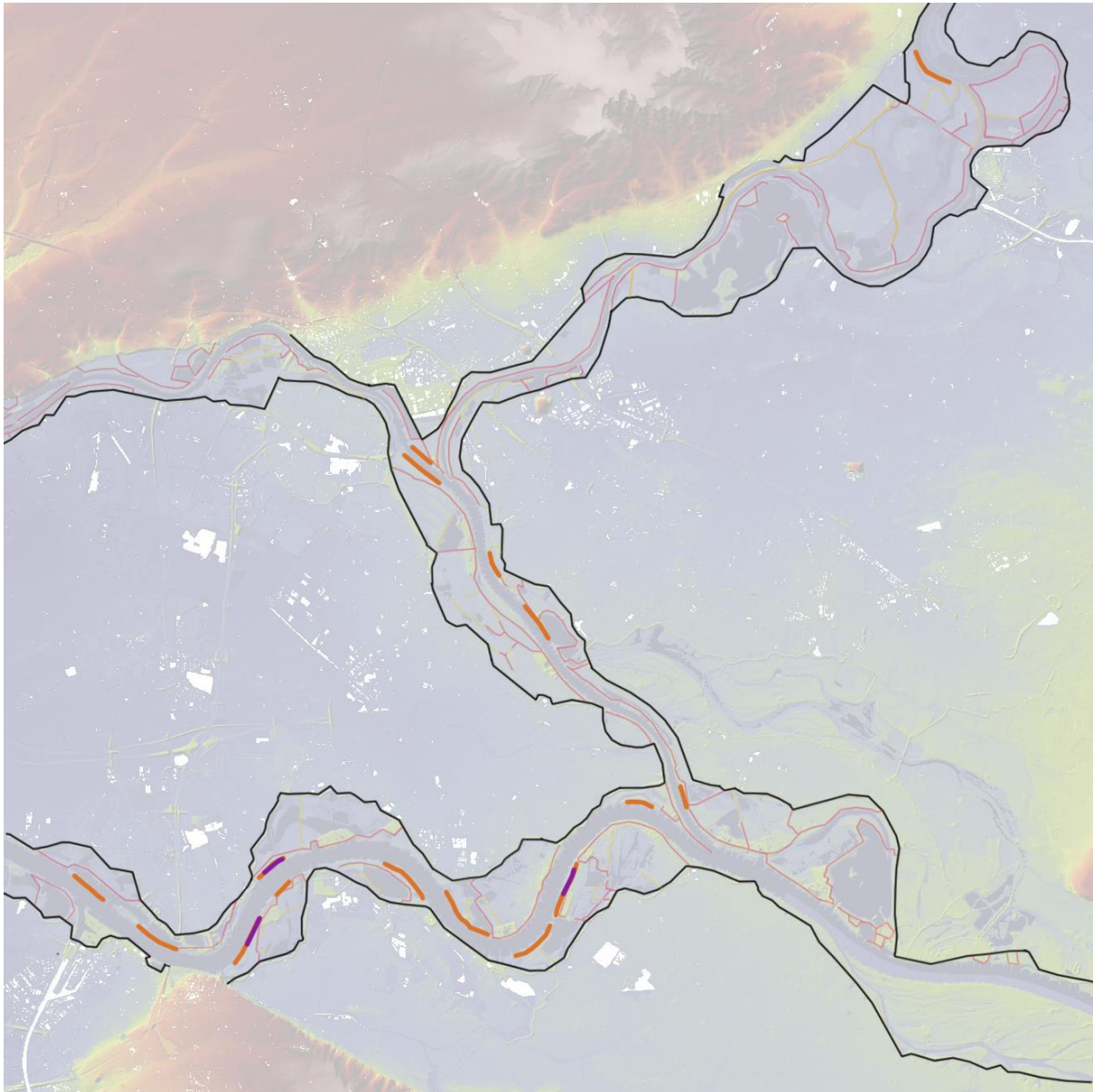
- Neder-Rijn: ca 60% zandige oevers, vooral in het bovenstroomse deel. In het verstedelijkte gebied nabij Arnhem ontbreken zandige oevers, op een deel van de Meinerswijk na.



Figuur 4.9. Verspreiding van zandige rivieroevers in de Gelderse Poort (in geel). Met zwart zijn de winterdijken weergegeven en met dunne rode lijnen de zomerkades.



Figuur 4.10. Impressie van zandoverslag op en net achter een oeverwal, die ca. 50 cm hoog is overstroomd. Dit is de Waaloever bij Wamel, buiten het projectgebied.



Figuur 4.11. Verspreiding van oeverzones waar tijdens hoogwater zand wordt afgezet op de oeverwallen in de Gelderse Poort (in oranje). De paarse trajecten zijn locaties waar het zand ook door de wind tot rivierduinen wordt opgewaaid. Met zwart zijn de winterdijken weergegeven en in rood de zomerkades.

Voor zandoverslag tot op de oeverwal is naast de beschikbaarheid van zand ook belangrijk dat er water de uiterwaard instroomt. In de bovenstaande foto is een luchtfoto van een riviertraject in de Middenwaal afgebeeld waarop goed zichtbaar is hoe zand vanaf het zomerbed door de stroming tot in de uiterwaard is gevoerd. Instroom van water treedt in de Gelderse Poort vooral op daar waar geen zomerkades aanwezig zijn, of waar ze relatief ver van de rivier afliggen. De zomerkades in het gebied zijn namelijk zo hoog dat ze het volstromen van de uiterwaarden bij de meeste hoogwaters verhinderen. Op plaatsen waar zomerkades ontbreken vindt wel overslag plaats en wordt de overwal met enige regelmaat van vers zand voorzien.

In figuur 4.11 zijn de trajecten weergegeven waar actieve zandoverslag plaatsvindt (afgeleid uit luchtfoto's en kennis van de situatie in het veld). Verreweg de meeste locaties liggen langs de Waal. De combinatie van een hoog aanbod (85% van de totale zandstroom die de Rijn aanvoert) en de

aanwezigheid van kribvakken met stranden die als tussenstation kunnen dienen zijn hier debet aan. De locaties met actieve zandoverslag bevinden zich ook allemaal op plaatsen waar de zomerkade ontbreekt of ver van de rivieroever ligt, zodat instroom van water mogelijk is. Op een drietal plaatsen is voldoende zand aanwezig om duinvorming mogelijk te maken. Het gaat hierbij om trajecten met een grote strijk lengte over het water tijdens zuidwestenwind. Ook zijn de kribvakstranden hier relatief breed zodat voldoende zand beschikbaar is.

Langs de Neder-Rijn is het aantal trajecten waar zandoverslag zichtbaar is veel beperkter. Het gaat ook hier steeds om trajecten met kribvakken en zandige oevers. Op de andere trajecten ligt de zomerkade vaak dicht tegen de rivier aan of is de oever geheel in steen uitgevoerd. Langs de IJssel tenslotte is zandoverslag naar de oeverwal nergens zichtbaar op een traject na, vlak voor Dieren. Mogelijk dat de gehele in steen uitgevoerde oevers en zomerkades die tot dicht bij de rivier komen hier de oorzaak van zijn.

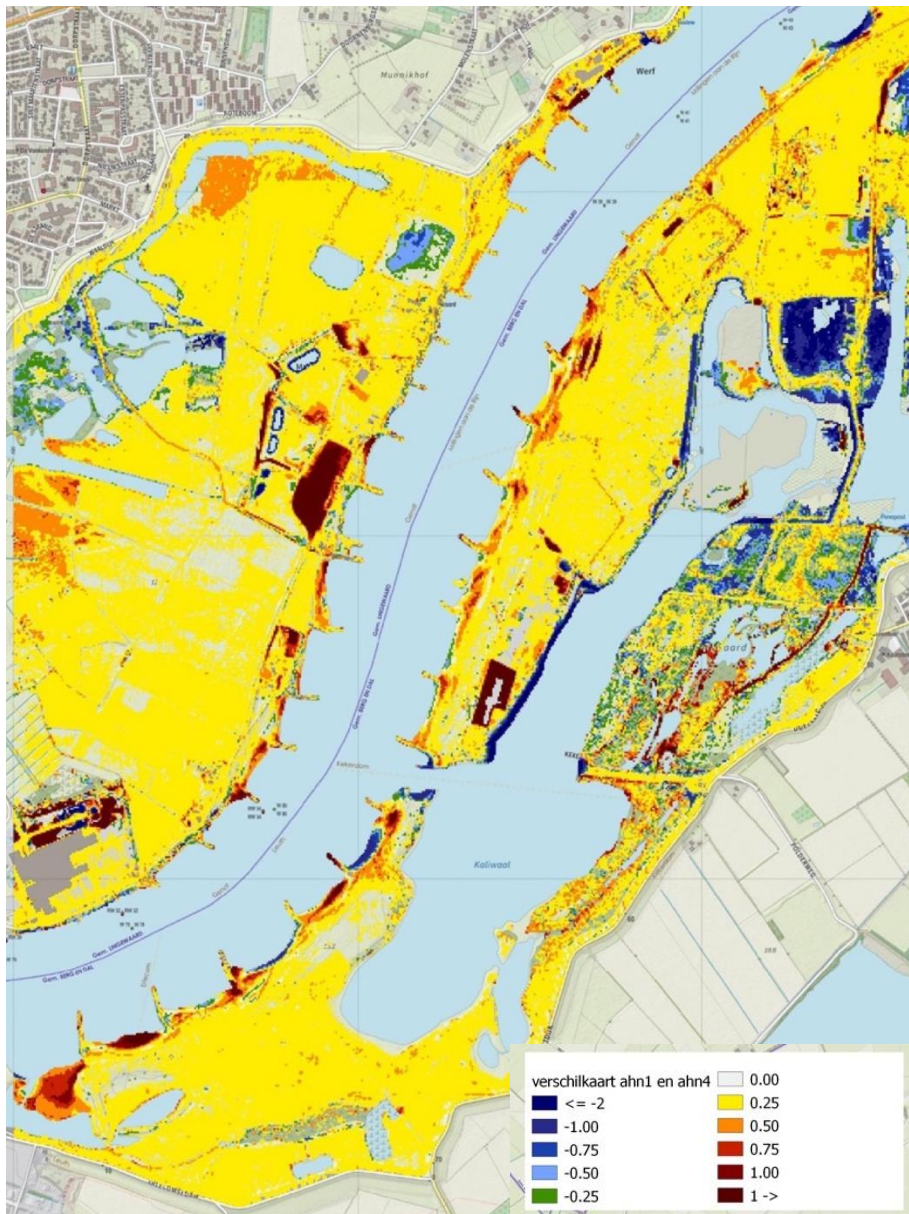
Relatieve en absolute veranderingen in oeverwalhoogtes.

Als gevolg van de zandoverslag hogen de oeverwallen steeds verder op en neemt de overstromingsfrequentie af. Naast deze absolute verandering, vermindert de overstromingsfrequentie ook omdat, als gevolg van de bodemdaling van het zomerbed en rivierverruiming, er een steeds hogere afvoer nodig is om een bepaalde waterstand te bereiken. In figuur 4.20 (in volgende paragraaf) is de verandering in benodigde afvoer voor dezelfde waterstand weergegeven. Voor een gemiddelde oeverwal betekent dit dat de afvoer waarbij deze overstroomt sinds het jaar 1900 is toegenomen van 4.700 m³/s naar 6.700 m³/s. In frequentie uitgedrukt betekent dit dat een oeverwal in de Gelderse Poort 100 jaar geleden nog ieder jaar overstroomde (gemiddeld 15 dagen per jaar) tegen nog maar eens in de 1,5 tot 2 jaar tegenwoordig (gemiddeld 3 dagen per jaar).

Daarbovenop is de oeverwal ook hoger geworden vanwege zandafzettingen. Aan de hand van de verschillen in de hoogtegegevens van de AHN1 en de AHN4 is een kwantitatieve inschatting te maken van de mate waarin de oeverwallen ophogen. Zie figuur 4.12 voor een gebied met actieve oeverwalvorming in de Erlecomse waard. Veel oeverzones zijn door aanzanding tot 50 cm, lokaal 75 cm opgehoogd, wat overeenkomt met een snelheid van gemiddeld 3 tot 4 cm per jaar. In deze tijd waren er overigens maar weinig hoogwaters die de gehele oeverwal overstroomden. De hogere delen bleven daarom verstoken van zand aangevoerd door het water. Een deel van het zand in dit traject is ook door de wind verplaatst. Dit is duidelijk zichtbaar bij het Millingerduin (op een kwart van de figuur van boven) waar naast elkaar twee rode zones zichtbaar zijn. Dit is het zand aan weerszijden van de weg, die vrijgehouden wordt van zand. De donkerblauwe gebieden zijn locaties waar het maaiveld lager is geworden, bv door kleiwinning¹⁷ of erosie (een enkel kribvak).

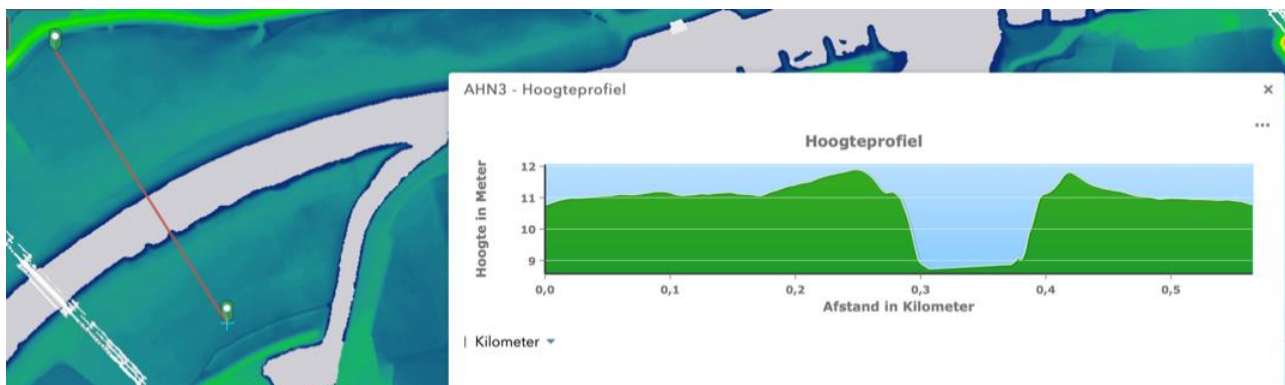
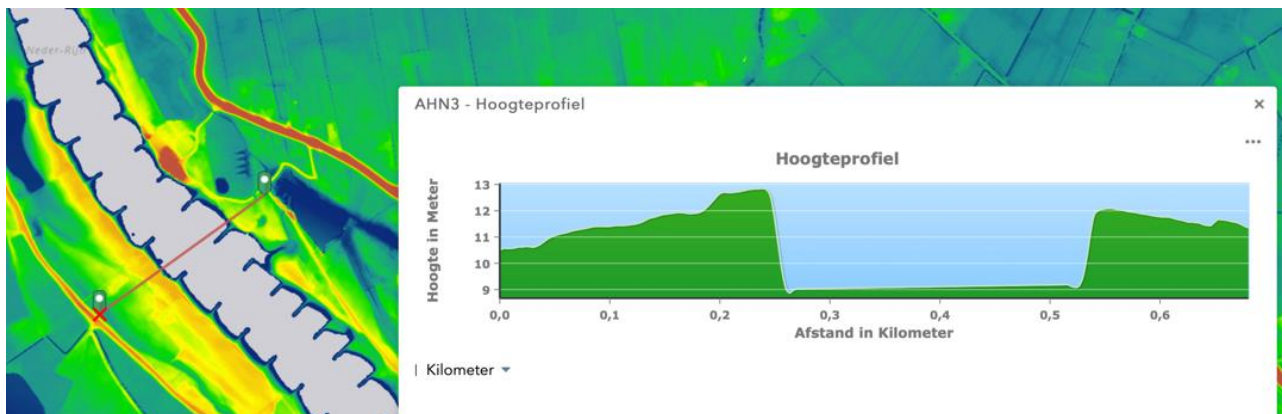
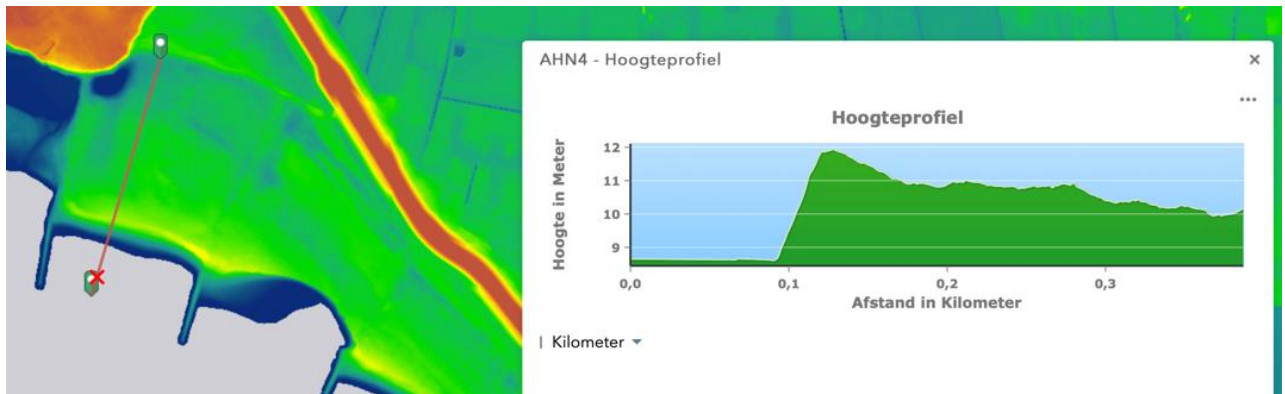
Uit deze analyse blijkt dat in ieder geval de zich ophogende delen gaandeweg buiten het bereik van het rivierwater komen. Per jaar gaat het om een verandering van 3 tot 4 cm ophoging en 1,5 tot 2 cm bodemdaling; samen ca 5 cm. Voor afvoeren die zo'n 20 dagen per jaar optreden betekent dit dat de overstromingsfrequentie ieder jaar met ongeveer 1 dag afneemt.

¹⁷ In de Millingerwaard en de Gendtse waard lijkt in de oudere kleiputten lokaal erosie op te zijn getreden, maar hier stond tijdens de eerdere meting water, waar niet voor is gecorrigeerd, zodat het hoger leek te zijn.



Figuur 4.12. Hoogteverschilkaart tussen AHN1 En AHN 4 (ca. 18 jaar tussentijd) van de Millingerwaard vanaf het Kolenbrandersbos (geheel boven) tot het einde van de Erlecomse waard. Toelichting zie tekst.

In figuur 4.13 zijn enkele karakteristieke dwarsdoorsneden van achtereenvolgens de Waal, Neder-Rijn en IJssel. De oeverwallen langs de Waal en de Neder-Rijn zijn hier ca. 2 - 2,5 m hoger dan het achterland, de oeverwal langs de IJssel is met 1 m duidelijk minder hoog.



Figuur 4.13. Dwarsprofielen van rivieroeveren met oeverwallen van (boven naar beneden) de Konijnenwaard langs de Waal bij Gendt, de Huissensche Waard langs de Neder-Rijn en de Velperwaard langs de IJssel.

Slibafzettingen in de uiterwaardvlakte

Slib bezinkt op plaatsen waar de stroomsnelheid van instromend water sterk terugvalt zoals:

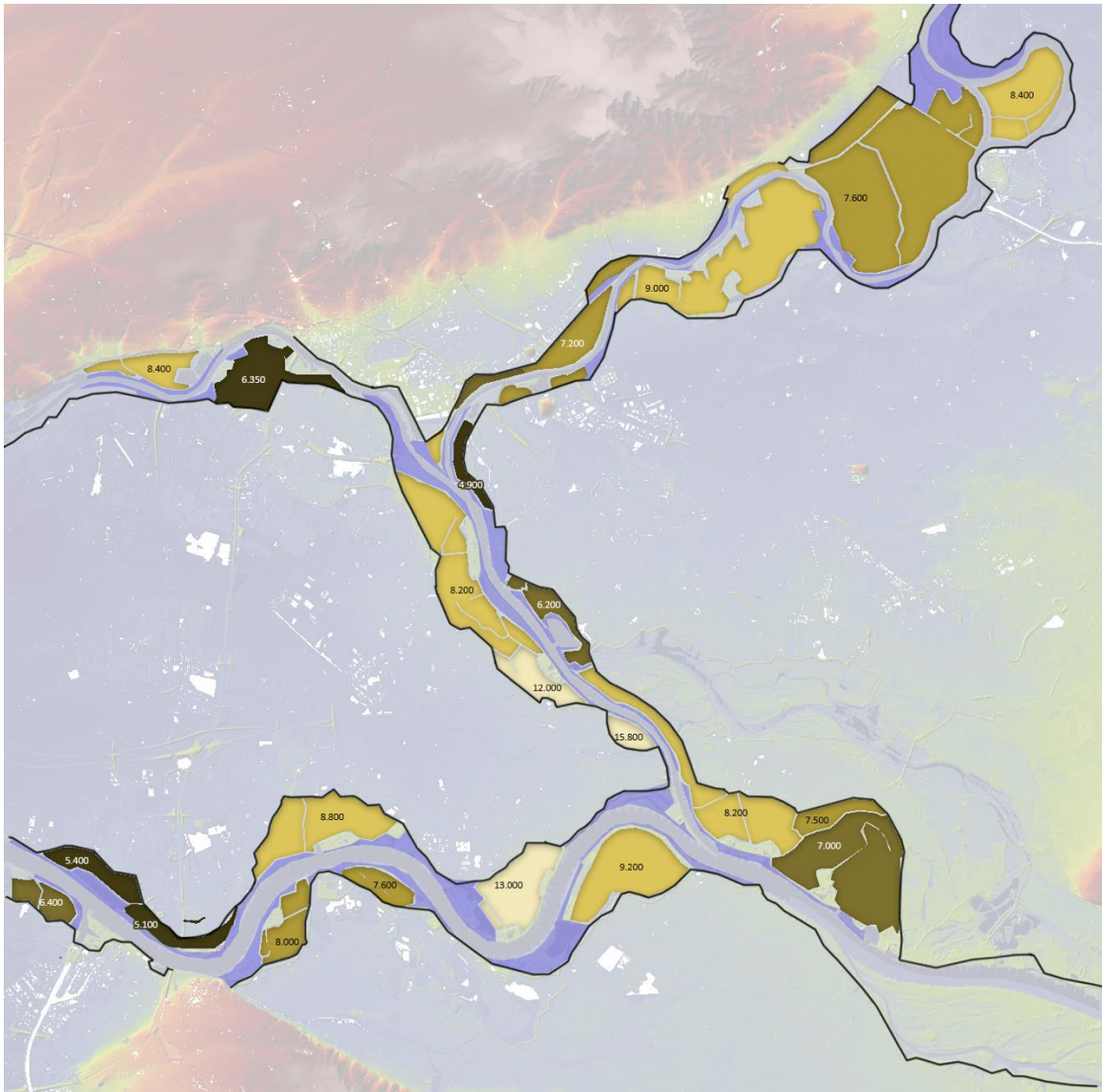
- Bekade gebieden (rode gebieden in fig. 4.5), die als een soort van badkuip functioneren tijdens een overstroming.
- In gebieden met een ruwere vegetatie, waar een dunne laag water doorheen stroomt, die het grootste deel van het slib invangen. Vooral in buiten de kade gelegen gebieden (blauw in fig. 4.5).
- Boven diepe plassen waar de stroomsnelheid gering is en een deel van het slib uit zal zakken.
- In uiterwaarden en nevengeulen die benedenstrooms zijn aangetakt en zich bij opkomend water langzaam vullen, zodat het slib al snel uit de waterkolom zal bezinken (zie de satellietfoto).



Figuur 4.14. Satellietfoto tijdens het hoogwater van januari 2018 waarop duidelijk het slibtransport in de rivier zichtbaar is. In de uiterwaarden die mee stromen zoals de Erlecomse Waard en de Konijnenwaard (nrs. 1 en 2) wordt het slib doorgevoerd, in uiterwaarden die zich vanaf benedenstrooms langzaam vullen zoals de Millingerwaard en de Gendtse Waard (nrs. 3 en 4) dringt het slib maar langzaam de uiterwaard in en bezinkt het grootste deel al onderweg.

De satellietfoto (figuur 4.14) laat zien dat zelfs bij relatief hoge afvoeren (in dit geval ca 7.500 m³/s) alleen in de onbekade uiterwaarden veel slibrijk water door kan dringen. De zomerkades houden het water op veel plaatsen tegen en daarmee ook de aanvoer van slib. De hoogte van de kades bepaalt dan de mate waarin er sedimentatie op kan treden. In figuur 4.15 is voor de bekende uiterwaarden in vijf klassen aangegeven of veel of weinig sediment de uiterwaard kan bereiken. In veel gebieden is de aanvoer beperkt (lichte kleuren). De Spiegelwaal en Meinerswijk hebben een relatief hoge waarde omdat hier recent in het kader van Ruimte-voor-de-Rivierprojecten verlagingen van de zomerkade hebben plaats gevonden. Er is geen duidelijk onderscheid tussen de riviertakken.

In figuur 4.15 zijn met een lilablauwe kleur ook de uiterwaarden aangegeven die niet bekaad zijn. De overstromingsfrequentie is hier meestal veel hoger dan in de bekende gebieden: tot ca. 20 dagen per jaar. De mate waarin hier slib bezinkt is vooral afhankelijk van de stroomsnelheid van het water. Bij een groot hoogwater is de stroomsnelheid zo groot dat slib geen tijd krijgt om uit te zakken, bij een lagere waterstand echter kan slib wel uitzakken, vooral in rustige delen van de uiterwaard.



Figuur 4.15. Mate waarin in bekaade uiterwaarden klei bezinkt; bepaald aan de hand van de overstromingsfrequentie. In vijf klassen van licht tot donker: vrijwel nooit (<1:20 jaar), zeer zelden (1:4 – 1:20 jaar), zelden (1:2 – 1:4 jaar), vrij vaak (1:1,5 – 1:2 jaar) en vaak (>1:1,5 jaar). De lilablauwe uiterwaarden zijn locaties zonder kades, waar het rivierwater direct toegang toe heeft.

Een deel van de uiterwaarden (o.a. Millingerwaard) is tegenwoordig wel benedenstrooms aangetakt, maar het instromende water verliest daar al bij de ingang zijn sediment, waarna de uiterwaard zich vult met sedimentloos water.

Tabel 4.3. Overstromingsfrequentie van zomerkades; veranderingen sinds 1900.

	Afvoer 2022	Frequentie 2022	Afvoer 1900	Frequentie 1900
laag bekaad	<6.000	<5,5 d	<4.000	25 d
gemiddeld bekaad	6.000-7.000	2,5 – 5,5 d	4.000 – 5.000	12 – 25 d
hoog bekaad	7.000-8.000	1,0 – 2,5 d	5.000 – 6.250	4,5 – 12 d
zeer hoog bekaad	>8.000	< 1,0 d	>6.250	<4,5 d

Morfodynamiek in de uiterwaarden en de invloed op de ecologie

- De Rijn transporteert veel zand, waarvan de Waal relatief het grootste volume doorvoert. Stroomdalfloravegetaties en hardhoutooibossen profiteren hier sterk van op dit traject. De grote hoeveelheid zand draagt bij aan de actieve oeverwalprocessen, met name in het traject van de Waalbochten. Belangrijke voorwaarde is een brede oeverzone met zandige stranden zonder verharding, die direct kan overstromen, zonder kades e.d. binnen korte afstand. Op plaatsen waar veel water het winterbed in stroomt is de hoeveelheid zand het grootst. Dit principe is ook van belang in relatie tot de wenselijkheid van langsdammen.
- Lokaal vindt in de binnenbochten van de Waalbochten ook afzetting van grind plaats, soms zelfs tot vrijwel boven op de oeverwal. Daarnaast vindt in dit traject ook rivierduinvorming plaats op oevers met een grote strijklengte over het water. Beide processen zijn uniek het hele Nederlandse riviersysteem en leveren bijzondere vegetaties op met een eigen soortensamenstelling.
- De Neder-Rijn ontvangt veel minder zand dan de Waal en ondanks dat er nog vrij veel open zandstranden zijn is de mate van overslag naar de oeverwal beperkt, op enkele korte trajecten na. Dit zien we terug in het meer beperkte voorkomen van soorten van de oeverwal-/stroomdalgraslanden. Mogelijk dat de beperkte instroom van sedimentrijk water naar de uiterwaarden deze uitwisseling verhindert. Daarbij zijn er met name in het Pannerdensch kanaal en nabij Arnhem veel oevers met steen versterkt, wat de overslag van zand sterk beperkt.
- De IJssel ontvangt relatief evenveel zand als de Neder-Rijn, maar zandstranden komen hier op een enkele na niet voor en zandoverslag naar de oever is mede hierdoor zeer beperkt. Stroomdalsoorten zijn mede daardoor (maar ook in relatie tot het actuele beheer) veel minder aanwezig. Langs de afgesneden meander bij de Fraterwaard bestaat de oever nog wel uit zand, maar ontbreekt overslag a.g.v. het ontbreken van voldoende stromingsenergie.
- Als gevolg van de bodemdaling van het zomerbed, is een steeds hogere afvoer nodig de oeverwallen te laten overstromen. De hoogste delen van veel oeverwallen zijn daarom al in geen 10 jaar overstroomd. Dit effect is in alle riviertrajecten aanwezig. Daarbij zorgt de zandoverslag zelf ook voor een steeds grotere hoogte en daarmee afnemende overstromingsfrequentie. Daarmee vermindert ook de aanvoer van kalkrijk zand, wat de hiervan afhankelijke stroomdalvegetaties zal beperken.
- De 3 riviertrajecten ontvangen ieder, naar gelang de afvoer, een ongeveer gelijkwaardig deel van het slib dat de Rijn aanvoert. In de slibrijke komgronden vinden we vooral ecotopen als ooibos, struweel en rivierdalruigte. Ook glanshavergraslanden en essen-iepenbos zijn afhankelijk van een bodem waarin zavel en lichte klei aanwezig is. Op te vette kleigronden is de ontwikkeling van soortenrijke (glanshaver)graslanden niet goed mogelijk, en zal altijd een relatief ruige begroeiing opkomen.
- In de afgelopen 50 jaar is op veel plaatsen de klei afgegraven tot op de zandspiegel, waarna het proces van opslibbing opnieuw is begonnen. Als gevolg van de zomerbeddaling en verminderde overstromingsfrequentie is de sedimentatiesnelheid van klei echter sterk verminderd. Bodems zullen daardoor minder snel ophogen, waardoor bodemontwikkeling anders verloopt, wat mogelijk weer zijn weerslag heeft op de ontwikkeling van de vegetatie. Bekend is inmiddels dat grote delen van de uiterwaarden in de Gelderse Poort nu vooral geschikt zijn voor hardhoutooibosontwikkeling en veel minder voor zachthoutooibos.
- Alleen in onbekade gebieden is de overstromingsfrequentie nu nog zodanig dat regelmatig klei zal worden afgezet. Maar ook hier heeft de bodemdaling voor een afname gezorgd.

4.3 Morfodynamiek in het zomerbed en in kribvakken

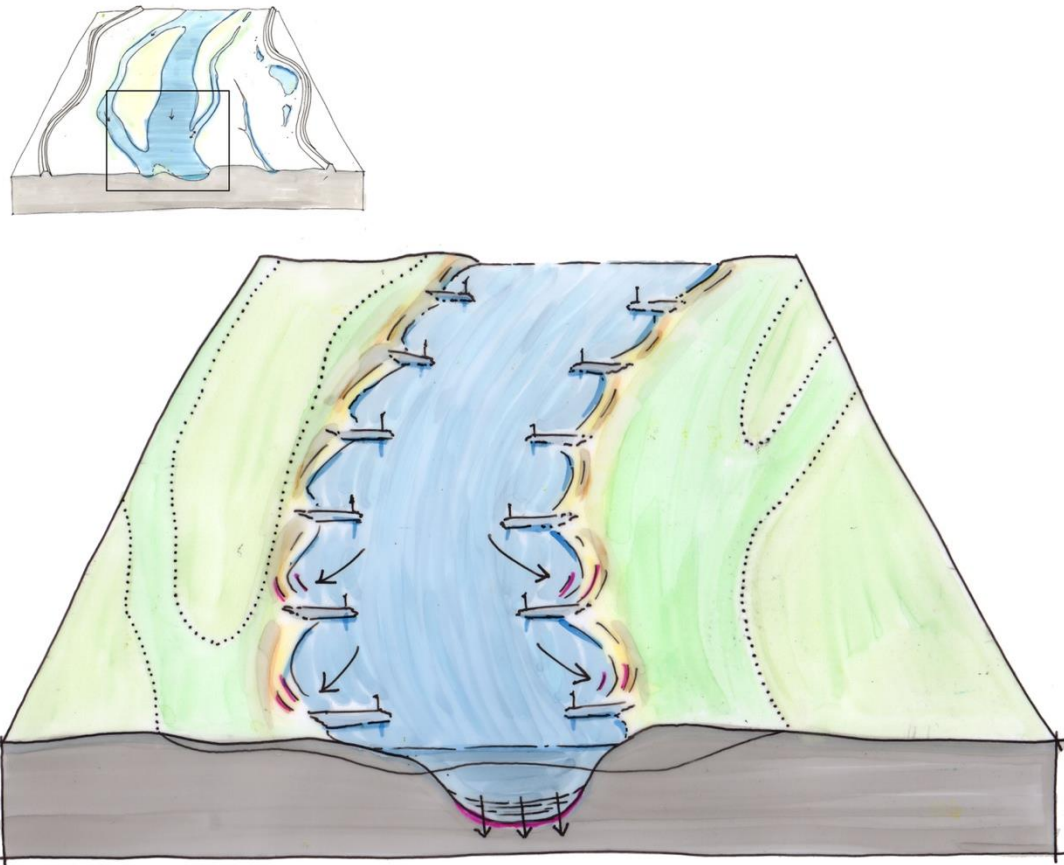
Omschrijving van de processen die samenhangen met morfodynamiek in het zomerbed

De morfodynamiek in het zomerbed is grotendeels tegengesteld aan die van het winterbed. Terwijl er in het winterbed sediment neerslaat, is er in het zomerbed vooral sprake van erosie. Deze scherpe tegenstelling bestaat al sinds het zomerbed eind 19^e eeuw werd vastgelegd en de zijdelingse beweging van de rivier stokte. In de oorspronkelijke situatie vond erosie plaats in de buitenbocht en sedimentatie in de binnenbocht. Sinds het vastleggen en versmallen van het zomerbed is er vrijwel geen ruimte meer voor sedimentatie in de bedding zelf en overheerst de erosie, die zich sindsdien op de bodem richt in plaats van op de oevers van de buitenbocht.

Voor erosie is relatief veel energie nodig en het is daarom verbonden met stromend water. In het huidige riviersysteem vinden we dat alleen in en direct naast het zomerbed. In theorie is er in nevengeulen ook stromend water aanwezig, maar op enkele uitzonderingen na zijn de stroomsnelheden in nevengeulen zo beperkt dat er vrijwel geen erosie optreedt¹⁸. Een tweede voorwaarde voor erosie is dat het substraat (zand of klei) relatief los ligt en makkelijk kan worden opgepakt. Er zijn twee situaties waar aan deze voorwaarden wordt voldaan (zie figuur 4.16):

1. de bodem van het zomerbed, waar de stroming vrijwel altijd sterk genoeg is om zand te transporteren
2. in de kribvakken, waar door een combinatie van golfslag (vnl. van schepen) en stroming zand wordt getransporteerd.

situatie 1850 voor aanleg kribben



Figuur 4.16. Locaties waar in het huidige riviersysteem erosie optreedt (toelichting zie tekst).

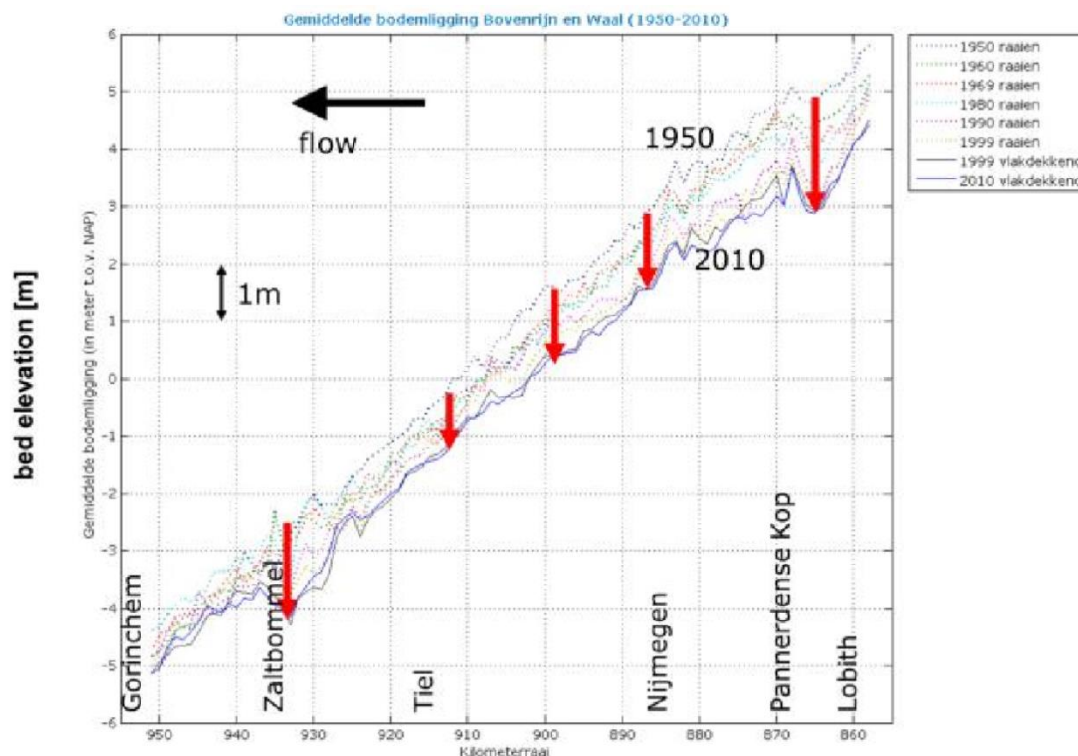
¹⁸ Lit: Morfologische ontwikkeling van Nevengeulen; RWS, 2020.

Erosie van het zomerbed

Transport van zand door het zomerbed is van alle tijden. In een natuurlijk riviersysteem dat in een stroomgordel ligt, zoals dat van de Rijn, is de situatie meestal in balans of licht positief (er slaat evenveel of iets meer zand neer dan er wordt afgevoerd). Sinds het midden van de 19^e eeuw is de balans verstoord door het vastleggen van de rivier. Een andere oorzaak is dat de aanvoer van zand vanuit Duitsland is afgenomen. Daarbij heeft ook excessief baggerwerk in de jaren 1970 de rivier van veel sediment beroofd. Door deze onbalans voert de rivier vanaf een specifiek punt meer zand af dan hij aanvoert en het gevolg is dat de bodem langzaam inslijt.

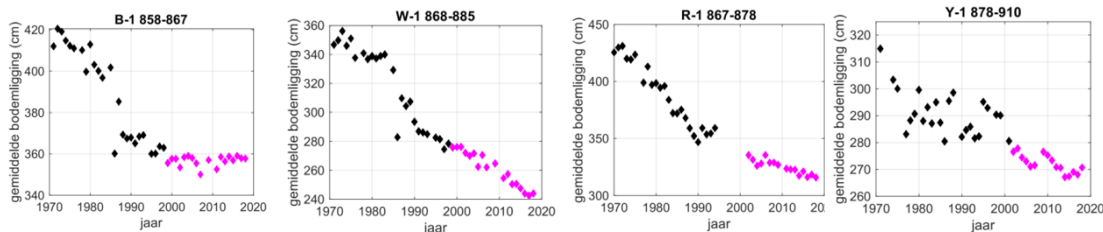
Ter hoogte van Lobith is de bodem daardoor sinds 1900 al 2,5 m gezakt, waarvan bijna 2 m tussen 1950 en 2010 (zie figuur 4.17). In de Gelderse Poort betekent dit in alle trajecten een bodemdaling met een snelheid van 1 tot 2,5 cm per jaar. In andere riviertrajecten van de Rijn is de erosie minder groot (zie figuur 4.18). De bodemdaling is een zelfversterkend proces doordat het water tot een steeds hogere afvoer binnen de bedding blijft. De stroomsnelheden bij een 'geulvullende' situatie zijn daarom veel groter dan ca. 125 jaar geleden, waardoor zand onder die omstandigheden sneller wordt doorgevoerd.

Opvallend is dat de bodemdaling in de Boven-Rijn sinds het jaar 2000 tot stilstand lijkt te zijn gekomen. Mogelijk dat dit het gevolg is van extra sedimentaanvoer vanuit Duitsland, waar de laatste decennia actief wordt gesuppleerd. Uit een analyse van de waterstand vanaf 2005 bij Lobith t.o.v Keulen¹⁹ blijkt echter nog geen afname van de daling.



Figuur 4.17. Bodemdaling in de Boven-Rijn en de gehele Waal over de periode van 1950 – 2010 (data RWS-ON).

¹⁹ <https://www.waterpeilen.nl/berichten/langere-tijd-droog-waterstanden-blijven-dalen>



Figuur 4.18. Bodemdaling in (van links naar rechts): de Boven-Rijn, de Waal tot Nijmegen, de Neder-Rijn tot de IJsselkop en de IJssel tot aan Dieren. De zwarte stippen zijn metingen met een single-beam, de roze met een multi-beam.

Met name langs de Waal wordt een deel van het zand tijdens hoogwater ook op de oeverwal afgezet, waardoor het uit het systeem verdwijnt omdat het daar buiten de invloedssfeer van erosie blijft (zie paragraaf 4.2). Tijdens hoogwater bezinkt ook zand in veel kribvakken, maar dat wordt in de maanden daarna vaak weer verder gevoerd (zie hierna). In het Pannerdensch Kanaal, de Neder-Rijn en de Boven-IJssel is er ook erosie, maar minder dan in de Waal. Exacte gegevens hierover zijn onvoldoende bekend.

Erosie in de kribvakken

Naast de zomerbederosie treedt ook in de kribvakken erosie op. Tijdens perioden van hoogwater, als het water over de kribben stroomt, is er vaak nog wel sedimentatie, maar zodra de rivierafvoer afneemt, breekt in veel kribvakken een periode van erosie aan. Scheepvaartgolven zorgen dan voor het opwervelen van het zand, waarna een deel van het zand met het water wordt teruggevoerd naar de rivier zelf. De kribvakken zijn dus een soort van tussenstation voor het zand, dat gevuld wordt tijdens hoge afvoeren en weer langzaam leegloopt tijdens lage afvoeren. Ten Brinke²⁰ heeft berekend dat jaarlijks ca. 85.000 m³ zand vanuit de kribvakken van de Waal erodeert en naar de vaargeul wordt verplaatst. Hiervan is ca. 70% afkomstig van de rechteroever en 30% van de linker. Dit verschil is zo groot omdat er door de langs de zuidelijke oever opvarende schepen meer erosie wordt veroorzaakt.

Of er op langere termijn netto erosie of sedimentatie plaats vindt in kribvakken is afhankelijk van het aantal dagen met hoogwater en netto aanvoer van zand. Sinds 2003 zijn er relatief weinig dagen met hoogwater geweest en mogelijk dat vanuit de kribvakken daarom in de laatste ca 20 jaar meer sediment verdwenen is dan aangevoerd. Een maat hiervoor is de grens van de begroeiing in de kribvakken. Gewoonlijk bevindt de grens tot waar permanente vegetatie groeit rond de mediane waterlijn (ca. 1.950 m³/s), maar op plaatsen waar scheepsgolven de oever bereiken, ligt deze grens hoger en wordt ze bepaald door het niveau tot waar de golfslag sterk genoeg is om de vegetatie weg te houden (ca. 3.500 m³/s). Naarmate er de sedimentbalans in het kribvak negatief is, kunnen golven verder door dringen en zal de lijn tot waar vegetatie groeit ook terugschuiven de uiterwaard in.

In figuur 4.19 is deze analyse uitgevoerd voor de Waal bij Erlecom en het Pannerdensch kanaal bij Loo. Beide locaties laten een wisselend beeld zien. Bij Erlecom zijn er met name op de noordoever veel kribvakken waar de lijn naar binnen is geschoven, wat duidt op erosie. Op de zuidelijke oever zijn er veel kribvakken met een wisselend beeld van zowel aangroei als afslag. Bij de Neder-Rijn is er vooral op de noordelijke oever erosie en op de zuidelijke meer sedimentatie. Beide waarnemingen zijn dus niet in overeenstemming met de waarneming van Ten Brinke, maar mogelijk is de steekproef van 2 trajecten wat te beperkt voor deze conclusie. Beide studies geven echter wel aan dat er meer kribvakken zijn met erosie dan met aangroei. En waar aangroei is gaat het meestal maar om kleine

²⁰ Ten Brinke (2004); De betegelde rivier. Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch kanaal, Neder-Rijn-Lek en IJssel in vorm. Veer Magazines, Diemen.

oppervlakten. Het laat zien dat de kribvakken zich momenteel uitbreiden, wat ten koste gaat van delen van de oeverwal.



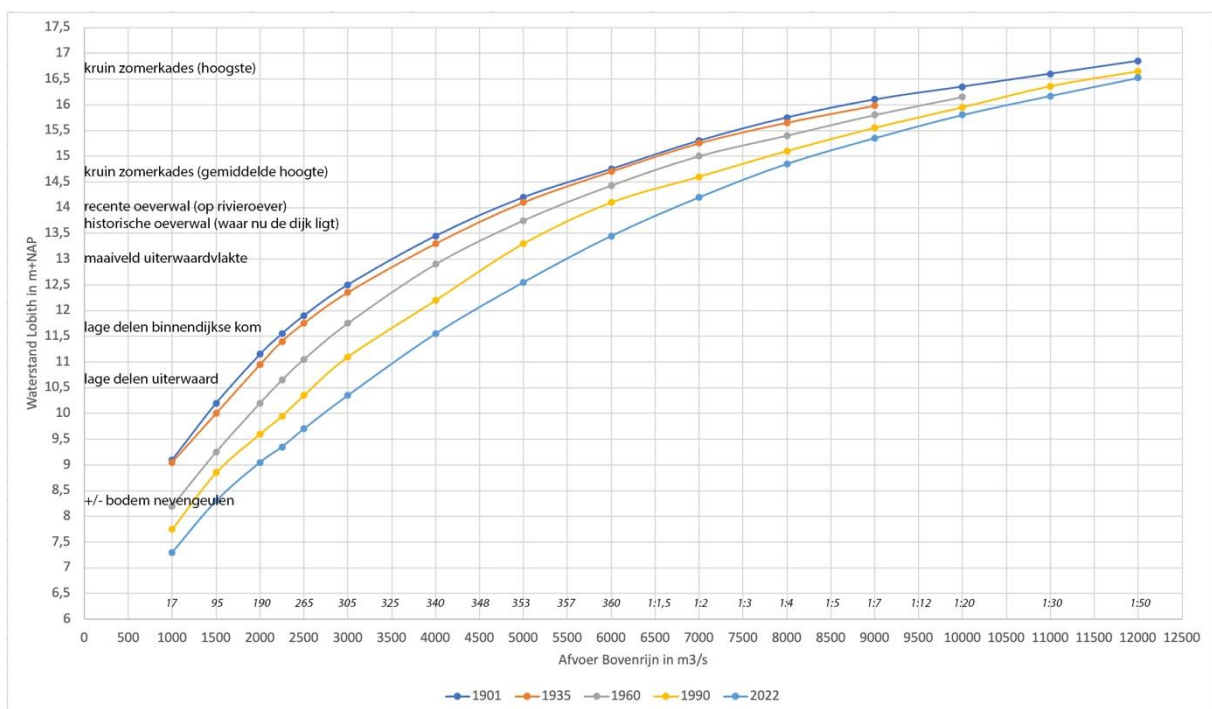
Figuur 4.19. Verandering van de oeverlijn bij de Waal bij Erlecom (boven) en de Neder-Rijn bij Loo (onder). De rode lijn geeft de grens van de vegetatie aan in 2005 op een recente luchtfoto uit 2021.

Effecten van de bodemdaling op de waterstanden

De negatieve sedimentbalans van het zomerbed in de Gelderse Poort heeft grote gevolgen voor de peildynamiek. De bodemdaling zorgt er namelijk voor dat de waterstanden mee dalen en dat tal van hydrologische processen die samenhangen met de variatie in de waterstanden veranderen. In figuur

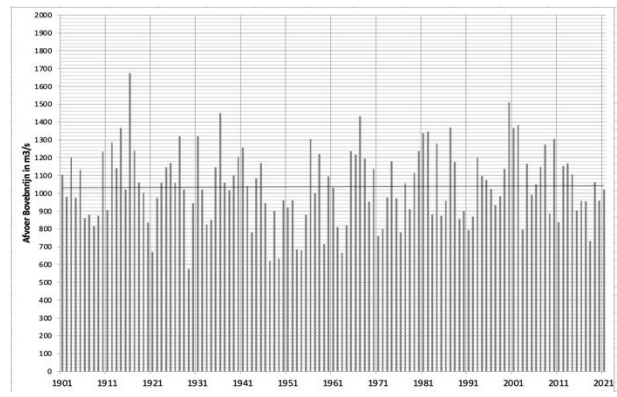
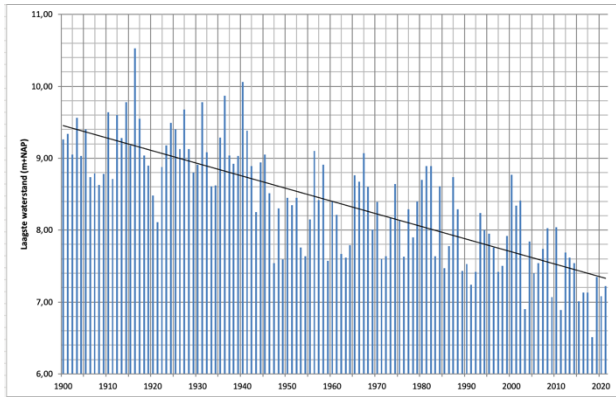
4.20 is met tussenpozen van ca 30 jaar de verandering in beeld gebracht. De bovenste lijn geeft voor het hele afvoerbereik van de Boven-Rijn de waterstand weer rond het begin van de meetreeks (1900) en de onderste lijn de huidige situatie, anno 2022. Langs de Y-as zijn naast de maaiveldhoogte ook karakteristieke locaties weergegeven in het winterbed.

Het verloop van de verschillende lijnen laat duidelijk zien hoe de frequentie waarmee de rivierwaterstand gelijk staat aan bepaalde maaiveldhoogten in de uiterwaarden en binnendijks sterk is veranderd. Zo overstromden vroeger al vanaf een afvoer van ca 1.700 m³/s de laagste delen van uiterwaarden, terwijl dat tegenwoordig pas vanaf 3.200 m³/s het geval is; een afname van ca 200 dagen per jaar naar 50 dagen. Een ander voorbeeld is het moment dat hogere delen van oeverwallen langs de rivier overstromen. Dit is afgenomen van gemiddeld 15 dagen per jaar naar slechts 2, waarmee het ook niet meer jaarlijks optreedt, maar nog maar eens in de 2 tot 3 jaar.

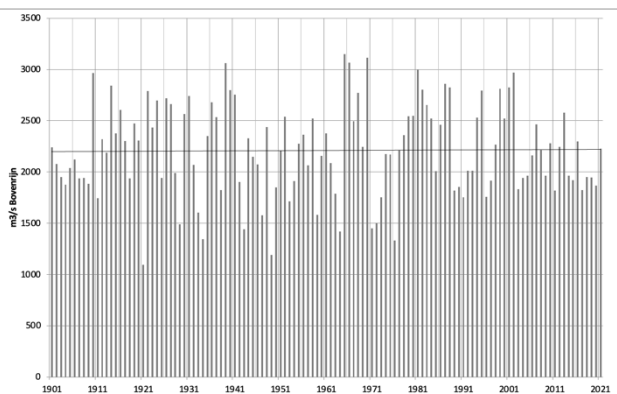
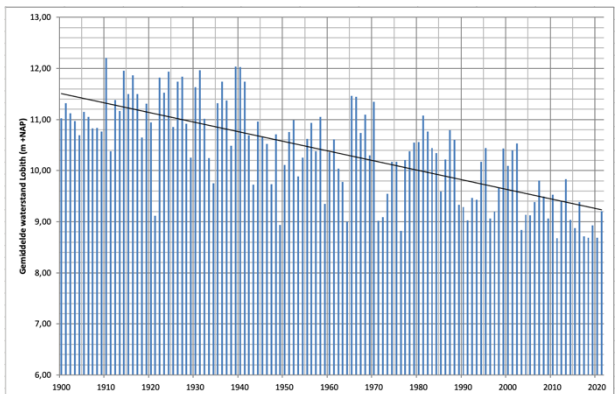


4.20. Verandering van de relatie tussen waterstand en afvoer bij Lobith vanaf het begin van de meetreeks in 1901. Als gevolg van de bodemdaling worden bepaalde waterstanden bij een steeds hogere afvoer bereikt. Langs de x-as is boven de afvoer de frequentie van optreden weergegeven; tot 6.000 m³/s de overschrijding in dagen per jaar, daarboven de kans op optreden per jaar. Langs de Y-as zijn een aantal onderdelen van het systeem genoemd. Deze worden in de tekst beschreven.

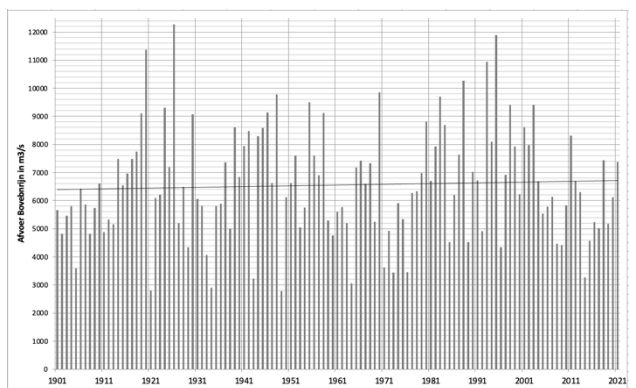
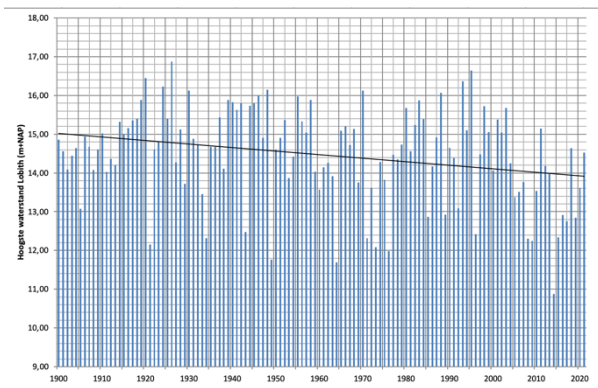
Bij de lagere waterstanden zijn de veranderingen het grootst: die dalen ongeveer net zo snel als de rivierbodembodem daalt (zie figuur 4.21). In iets mindere mate worden ook de gemiddelde waterstanden beïnvloed (zie figuur 4.22). Deze standen zijn belangrijk omdat hieraan de gemiddelde waterstand in de uiterwaard en het grondwater is gekoppeld. In beide figuren is rechts ook de jaarlijks opgetreden laagste en gemiddelde afvoer weergegeven, waaruit blijkt dat deze sinds het begin van de metingen niet zijn veranderd. De waterstands daling is daarom geheel het gevolg van de bodemdaling. In mindere mate, maar toch nog aanzienlijk, worden ook de hoogwaterstanden lager door de bodemdaling. In figuur 4.23 is de jaarlijkse hoogste stand weergegeven die bij Lobith is opgetreden. Deze is met ongeveer 1 meter gedaald, wat zich vooral uit in het minder vaak overstromen van de hogere delen. Net als bij de gemiddelde afvoer is de jaarlijkse hoogste afvoer weinig veranderd sinds 1900; de trendlijn is heel licht positief.



Figuur 4.21. Laagste opgetreden waterstand in de Rijn bij Lobith vanaf 1900 (links) en de laagste opgetreden afvoer (rechts).



Figuur 4.22. Gemiddelde waterstand in de Rijn bij Lobith vanaf 1900 – 2021 (links). Ter vergelijking de gemiddelde afvoer over deze periode (rechts).



Figuur 4.23. Hoogste opgetreden waterstand in de Rijn bij Lobith vanaf 1900 – 2021 (links). Ter vergelijking de hoogste afvoer over deze periode (rechts).

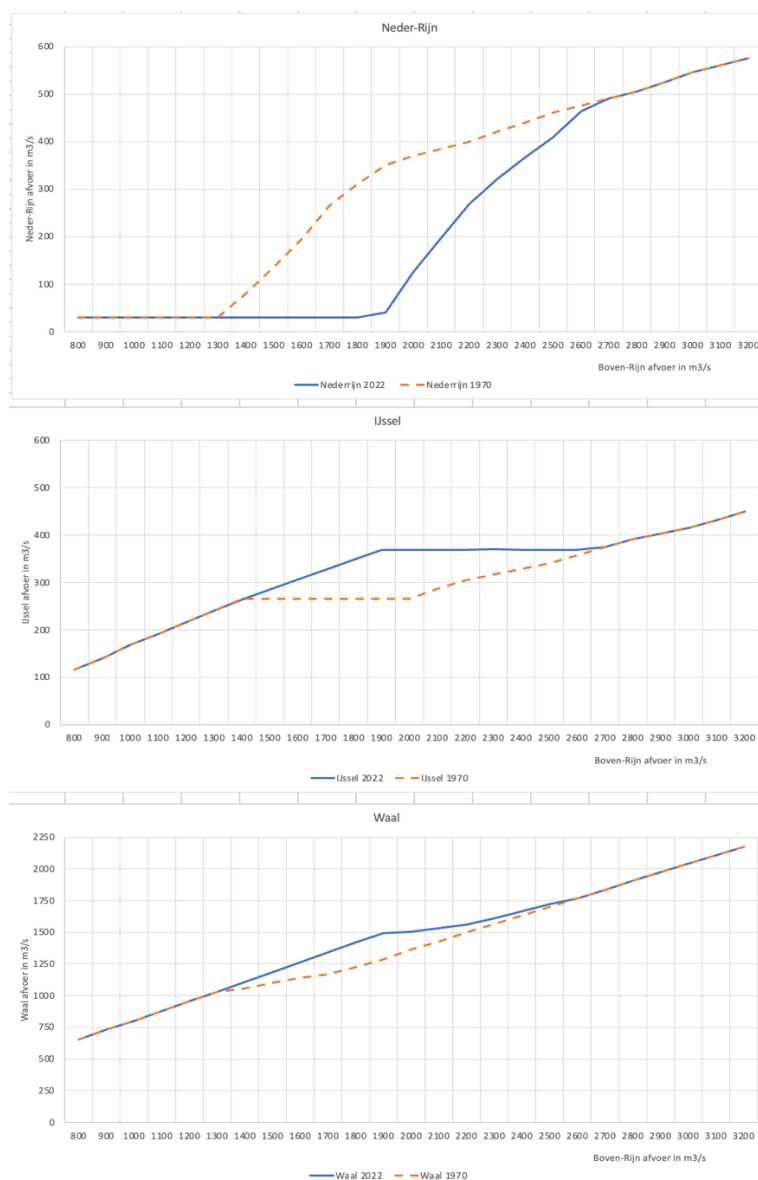
In de Boven-IJssel is ook sprake van bodemdaling en de lage en gemiddelde waterstanden zijn ook daar in de loop der tijd gedaald. Dit wordt hierna besproken in samenhang met de gevolgen van de bodemdaling op het stuwbeheer.

Gevolgen van de bodemdaling voor de waterverdeling over de Rijntakken door het stuwbeheer bij Driel

De bodemdaling heeft ook grote gevolgen voor de afvoerdeling omdat het stuwbeheer bij Driel er door wordt beïnvloed. Het beheer van de stuw is namelijk gebaseerd op vaste waterstanden bij Lobith en als gevolg van de bodemdaling worden deze waterstanden in de loop der jaren bij steeds hogere afvoeren pas bereikt. Zo was in 1970 de stuw geheel open boven een afvoer van ca 1.900

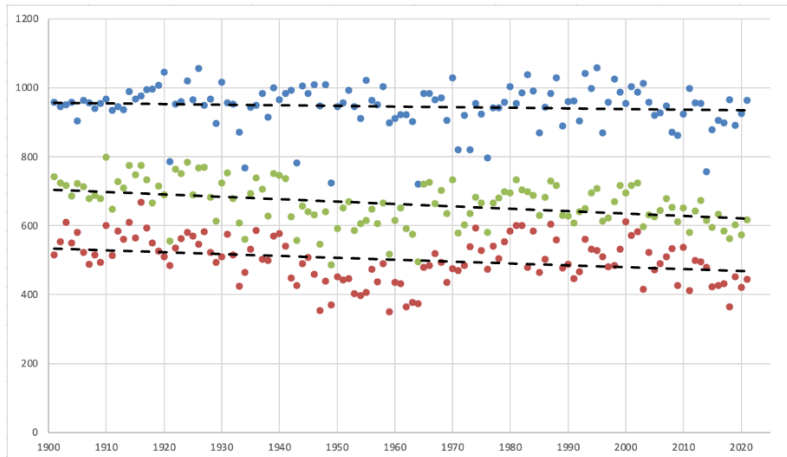
m³/s en inmiddels is dat opgelopen tot 2.750 m³/s. En ook de afvoer waaronder de stuw geheel gesloten is, is toegenomen: van ca. 1.300 m³/s in 1970, naar ca. 1.800 m³/s tegenwoordig. Dat betekent dat de stuw nu 160 dagen geheel gesloten is, waar dat vroeger slechts 60 was en nog maar 85 dagen geheel geopend is, terwijl dat vroeger 215 was.

Omdat de stuw van Driel steeds vaker geheel of gedeeltelijk is gesloten, voert de Neder-Rijn/Lek ook steeds minder water af. Sinds 1970 is de gemiddelde afvoer over deze riviertak met ca 100 m³/s afgenomen. Hiervan is ca 35 m³/s ten goede gekomen aan de IJssel en 65 m³/s aan de Waal. De IJssel voert daardoor op jaarbasis inmiddels veel meer water af dan de Neder-Rijn/Lek (365 m³/s versus 255 m³/s), waar dat vroeger nog andersom was (330 m³/s versus 350 m³/s). Het meeste extra water ontvangen IJssel en Waal bij de gemiddelde afvoeren. In figuur 4.24 is de verandering in de afvoeren bij oplopende Boven-Rijnafvoeren weergegeven zoals deze tussen 1970 en 2020 is opgetreden.



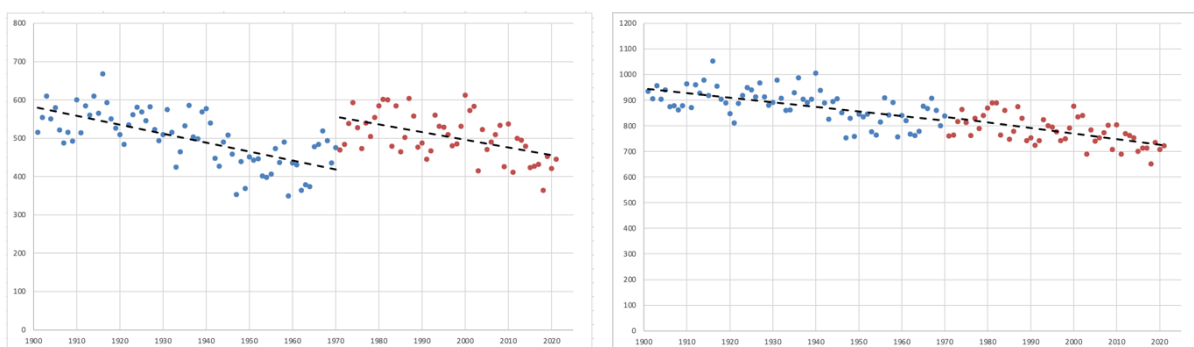
Figuur 4.24. Verandering van de afvoer over de 3 riviertakken sinds de ingebruikname van de stuw bij Driel. In blauw de huidige situatie, in oranje de situatie in 1970. De waarden voor deze figuur zijn verkregen uit stuwprogramma's van RWS. De werkelijke waarden zoals die dagelijks optreden kunnen hier enigszins van afwijken.

Voor de waterstanden in de IJssel heeft de bodemdaling van het zomerbed dus enerzijds tot gevolg dat ze dalen, maar anderzijds dat ze stijgen omdat meer water over de IJssel wordt afgevoerd vanwege de toename in dagen dat er gestuwd wordt. In figuur 4.25. Is voor het meetstation Doesburg de verandering in de hoge, gemiddelde en lage waterstanden weergegeven voor de hele meetreeks vanaf 1900. De hogere standen laten een geringe negatieve trend zien, de gemiddelde en de lagere dalen wel duidelijk.



Figuur 4.25. Jaarlijkse waterstanden bij Doesburg van de hele meetreeks: hoogste stand (boven), laagste stand (onder) en de gemiddelde stand daar tussenin.

Als de grafiek voor de lage afvoer wordt verdeeld in de periode voor 1970 en erna (zie figuur 4.26) dan is duidelijk het effect van het stuwbeheer terug te zien, maar ook komt de bodemdaling duidelijker in beeld. Als gevolg van het stuwbeheer is de laagst opgetreden stand na 1970 ca 1,3 m opgetild. Maar in de jaren daarna zorgt de bodemdaling in de Boven-IJssel ervoor dat de trendlijn blijft dalen. In de periode voor en na het instellen van de stuw is de daalsnelheid ongeveer gelijk. Tussen 1900 en 1970 daalde de laagste waterstand met ca 1,6 m en sinds 1970 met ruim 1 meter. Inmiddels is de laagste jaarlijkse waterstand weer ongeveer net zo laag als rond 1970. Ter vergelijking is in de linker grafiek ook de meetreeks van Lobith voor de laagste stand in twee delen verdeeld. Hier is geen onderbreking in de trendlijn zichtbaar.

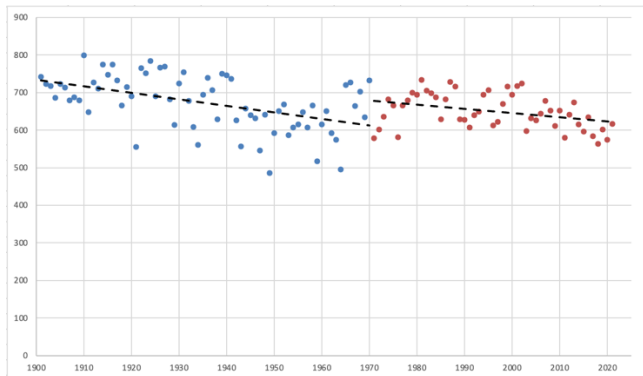


Figuur 4.26. Jaarlijks opgetreden laagste waterstand bij Doesburg met daarin een onderverdeling in de periode voor en na het stuwen (links) en dezelfde indeling voor de waterstand bij Lobith (rechts). Verdere toelichting zie tekst.

In figuur 4.27 is tenslotte ook de gemiddelde waterstanden bij Doesburg weergegeven, opgedeeld in twee segmenten, voor en na 1970. Net als de laagste waterstand is er een doorgaande daling te zien, onderbroken door het instellen van het stuwbeheer. In deze grafiek is ook zichtbaar dat de trend nu iets langzamer daalt dan in de periode voor het stuwen. Dit is het gevolg van de toename van de

IJsselafvoer bij de gemiddelde Rijnafvoeren. De IJssel ontvangt gemeten over het hele jaar inmiddels 2% meer van de Boven-Rijnafvoer dan 50 jaar geleden.

Al met al is gemiddelde waterstand sinds 1900 nabij Doesburg met ca 1 meter gedaald (zie figuur 4.26 links), wat een vergelijkbaar effect zal hebben op de grondwaterstand in de uiterwaarden. Zonder de invloed van het stuwbeheer was deze daling nog ca 70 cm groter geweest (de daling in de periode van 1970 was er dan namelijk nog bijgekomen). De daling van de waterstanden zet zich nog steeds voort en ondanks de extra afvoer die de IJssel ontvangt is de gemiddelde waterstand in de afgelopen 50 jaar toch weer met ca 1,5 cm per jaar voortgezet.



Figuur 4.27. Jaarlijkse gemiddelde waterstand bij Doesburg met daarin een onderverdeling in de periode voor en na het stuwen (links).

Effecten van de morfodynamiek in het zomerbed op het ecologisch functioneren

- De effecten van de morfodynamiek in het zomerbed op het ecologisch functioneren hebben vooral betrekking op de gevolgen die deze effecten hebben op de peildynamiek. Het gestaag dalen van de hoogte van het zomerbed trekt zowel de lagere als de hogere waterstanden mee naar beneden en dat heeft grote gevolgen voor de vochtsituatie (minder inundaties, minder kwel, lagere grondwaterstanden) in de uiterwaarden en daarmee op de riviergebonden ecotopen die daarvan afhankelijk zijn.
- Vanwege het sterker dalen van de lage waterstanden heeft open water in de vorm van plassen en nevengeulen²¹ steeds vaker met lage waterstanden en droogval te maken (zie figuur 4.28). Ook zijn de peilfluctuaties groter omdat de lage waterstanden sterker zijn gedaald dan de gemiddelde en hogere standen. Ecotopen van open water die meer stabiele omstandigheden prefereren zullen hierdoor in de knel komen. Zo zijn de oude kleiputten in de Millingerwaard inmiddels grotendeels drooggevallen, waar bij kenmerkende waterplanten-/rivierkwelvegetaties met veel Waterviolier verdwenen zijn. Elders zien we dat geulen en wateren met fonteinkruiden en nymphaeïde vegetaties met Watergentiaan en Waterlelie het moeilijk hebben.
- Vanwege het dalen van de gemiddelde waterstand, daalt ook de grondwaterstand onder de uiterwaarden, een proces dat nog steeds met vrijwel onverminderde snelheid doorgaat. De lagere delen van de uiterwaarden overstromen daardoor minder vaak en vochtminnende vegetaties zoals zachthoutoobossen en natte graslanden ondervinden daarvan de gevolgen. Maar ook vegetaties die niet persé vochtminnend zijn, maar wel op vochtige standplaatsen voorkomen zoals essen-iepenbossen en glanshavergraslanden zullen hier waarschijnlijk de gevolgen van ondervinden omdat soorten die droge omstandigheden prefereren meer en meer hun intrede zullen doen.
- Veel nevengeulen zijn ontworpen zonder ook de omliggende uiterwaarden vlakdekkend te verlagen. Deze nevengeulen hebben daardoor, net als het zomerbed, een drainerende en dus

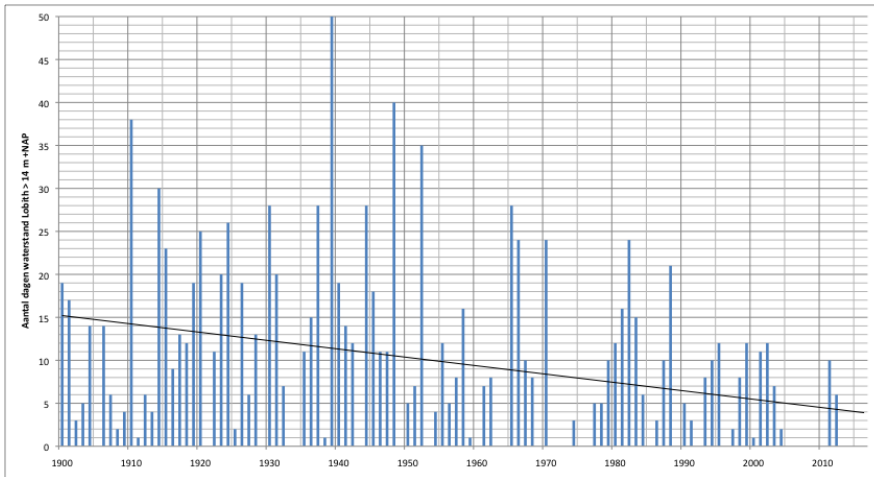
²¹ Veel nevengeulen zijn ontworpen op een zodanige waterstand dat ze onder OLR droogvallen (waterstand die 20 d/jr wordt onderschreden). Doordat de OLR daalt, vallen nevengeulen vaker droog.

verdrogende uitwerking op de omringende vochtminnende vegetaties. Dit wordt verder versterkt door de daling van de waterstanden.

- De grote uitzaknelheid van het water maakt het ook lastig om goed functionerende overstromingsvlakten in te stellen. Deze functioneren het beste als er vanaf ca. half maart zo'n 2 maanden lang een langzaam uitzakkende waterschijf kan worden gerealiseerd. De uitzaknelheid in veel gebieden is echter zo groot dat de vlakke vaak al veel eerder zal zijn uitgedroogd of überhaupt niet ontstaat.
- Het minder vaak optreden van hoogwater (zie figuur 4.29) heeft tot gevolg dat uiterwaarden veel minder vaak overstromen (nog maar 1/3^e van het historische aantal dagen) en als ze overstromen is het water ook weer veel sneller weg, waardoor watersystemen in de uiterwaarden, maar ook het grondwater minder worden aangevuld.
- Ook heeft het minder vaak optreden van hoogwater tot gevolg dat de rivierkwel naar binnendijks veel minder vaak optreedt dan vroeger. Het aantal dagen met sterke kwel (de waterstand ter hoogte van Lobith moet dan stijgen tot ca 14,5 n +NAP) is tegenwoordig nog maar 1/3^e van het vroegere aantal (zie figuur 4.20).
- Tenslotte betekent de bodemdaling dat de stuw van Driel tegenwoordig al bijna 2/3^e deel van het jaar in werking is, waardoor de waterstanden in het Pannerdensch Kanaal en de Neder-Rijn worden opgestuwd en de stroomsnelheden afnemen. Voor stroomminnende soorten wordt dit traject daardoor steeds minder interessant en eventuele meestromende nevengeulen krijgen ook vaker te maken met stagnante situaties.



Figuur 4.28. Satellietbeeld uit september 2018 tijdens een periode van zeer lage waterstanden. In de Buiten-Ooij bij Nijmegen is de nevengeul drooggevallen (nr. 1) en ook de Oude Waal viel dat jaar voor het eerst droog (nr. 2). De ten behoeve van hoogwaterbescherming extra diepe Spiegelwaal (nr 3) viel niet droog. De rivierstranden zijn ook opvallend breed.

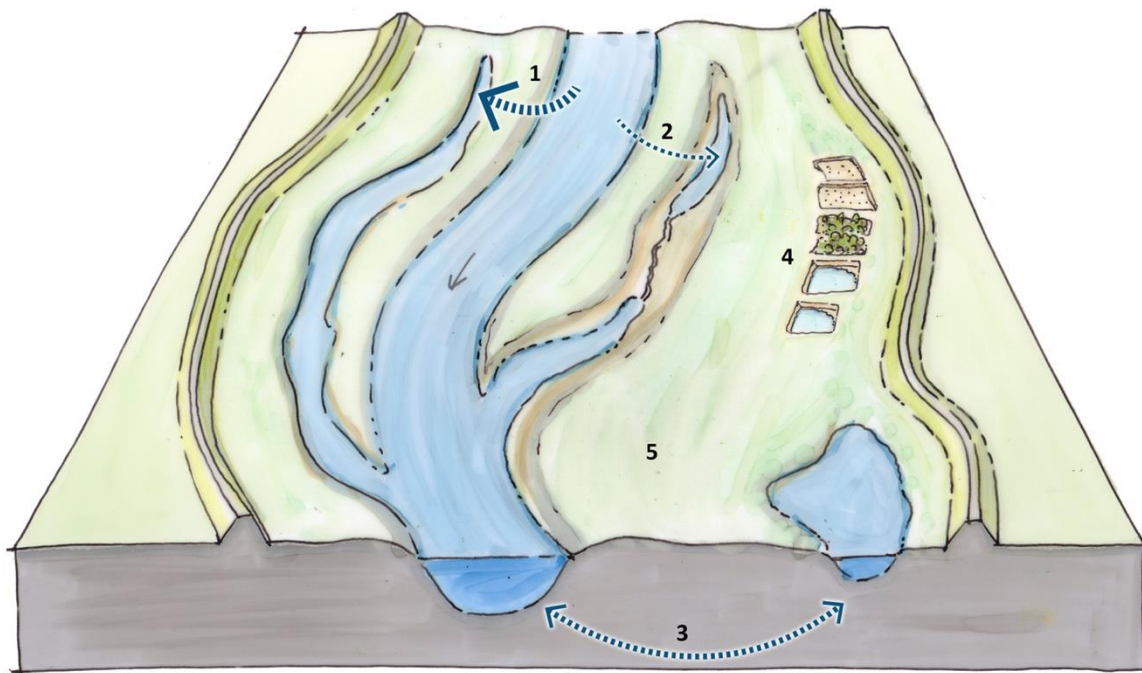


Figuur 4.29. Aantal dagen met een waterstand bij Lobith boven 14,5m +NAP (ca 7.450 m³/s), waarbij de uiterwaarden grotendeels zijn overstroomd en er ook sterke kwel naar binnendijks optreedt.

4.4 Rivierkwel naar - en wegzijging vanuit - de uiterwaarden

Omschrijving van de processen die samenhangen met rivierkwel in de uiterwaarden

Rivierkwel treedt op zodra het waterpeil in de rivier hoger staat dan het niveau van de naastgelegen uiterwaard. Rivierkwel kan zowel optreden naar oppervlaktewater in de uiterwaarden, als naar het maaiveld. In figuur 4.30 zijn de verschillende vormen weergegeven waarop rivierkwel kan optreden. Als de waterstand in de rivier weer lager wordt dan het maaiveld, dan keert de grondwaterstroom weer en slaat de kwel om in wegzijging.



Figuur 4.29. Rivierkwel kan op verschillende manieren optreden in de uiterwaarden. Nummers worden toegelicht in de tekst hierna.

1. Permanente rivierkwel bij benedenstrooms aangetakte wateren.

Bij de benedenstrooms aangetakte wateren is de waterstand in de nevengeul hetzelfde als de rivierwaterstand bij de monding. Vanwege het verhang in de rivier ontstaat er daardoor een peilverschil dat aan bovenstroomse zijde van de geul het grootst is. Daardoor kan daar een ondergrondse waterstroom op gang komen vanuit de rivier naar de geul. In de vrij afstromende riviertrajecten (Waal en Boven-IJssel) bedraagt het verhang per km ongeveer 10 cm. In de Neder-Rijn die stroomopwaarts van de stuw bij Driel gestuwd is bij lagere en gemiddelde afvoeren, is het verhang een groot deel van het jaar zeer gering. Pas vanaf 2.250 m³/s neemt het langzaam toe en pas vanaf 3.000 m³/s is het vergelijkbaar met de andere riviertrajecten (zie tabel 4.2). In de Boven-Rijn en Waal neemt het verhang bij toenemende afvoeren langzaam toe, in de IJssel juist langzaam af, om pas bij hogere afvoeren weer toe te gaan nemen.

Tabel 4.4. Waterspiegel-verhang (in cm per km) van de riviertrajecten in de Gelderse Poort bij debieten rondom de gemiddelde afvoer.

Afvoer in m ³ /s	Boven-Rijn en Waal	Neder-Rijn tot IJsselkop	Neder-Rijn vanaf IJsselkop	Boven-IJssel
1000	9,2	1,5	0	10,8
1500	8,9	1,8	0	10,4
2000	8,9	3,8	1,0	10,2
2250	9,2	5,8	4,1	9,7
2500	9,4	6,6	7,5	9,6
3000	9,6	7,7	11,2	9,4
4000	9,9	8,9	12,4	9,5
5000	10,3	9,9	13,1	10,0

De mate waarin rivierwater ondergronds door de oeverzone naar de nevengeul stroomt, is naast het verhang ook afhankelijk van de bodemopbouw. Zand is een vereiste voor enige stroming. In de meeste oeverzones van de rivieren is dat aanwezig. In veel historische beddingen naast het zomerbed, die vaak voor nieuwe geulen worden gebruikt, is in de loop der tijd vaak klei gesedimenteerd en een goed doorlatende bodem is hier zonder vergraving niet altijd aanwezig.

2. Benedenstrooms aangetakte wateren met (natuurlijke) drempel

Bij niet aangetakte nevengeulen is er pas sprake van rivierkwel als de drempelhoogte in de nevengeul wordt overschreden. Een drempel met bv een hoogte die bij gemiddelde afvoer (ca 2.250 m³/s) overstroomt, betekent dat er ca 130 dagen per jaar sprake is van rivierkwel. Een bekend voorbeeld van een niet permanent aangetakte nevengeul is het complex van nevengeulen in de Millingerwaard. De drempel daarvan overstroomt bij een afvoer van ca 2.000 m³/s, wat betekent dat er ca 170 dagen per jaar sprake is van rivierkwel in de nevengeulen.

3. Geïsoleerde wateren

In de uiterwaarden zijn er strangen en plassen, gevuld met permanent water (type 3 in de figuur 4.29), waar rivierkwel bij stijgende rivierwaterstanden invloed op heeft. Zodra de waterstand in de rivier hoger staat dan het niveau van de laagte ontwikkelt zich daar een kwelstroom en zal het peil in de laagte gaan stijgen. Zodra het rivierpeil weer daalt en lager wordt, keert de stroom om en zakt het peil in de laagte weer. De oude kleiputten in de Gendtse Polder zijn een voorbeeld van dit soort wateren.

4. Geïsoleerde laag gelegen gebieden, temporeel droogvallend

In veel uiterwaarden is het kleidek in de loop van de 20^e eeuw afgegraven, waardoor een verlaagd maaiveld ontstaat. Deze gebieden vullen zich met water in de winter, maar vallen vaak droog in de loop van het groeiseizoen. Deze vergraven delen liggen vaak zo'n 1 tot 2 m lager dan de aangrenzende onvergraven uiterwaard (aangegeven met het cijfer 5).

Rivierkwel en wegzijging in de Gelderse Poort

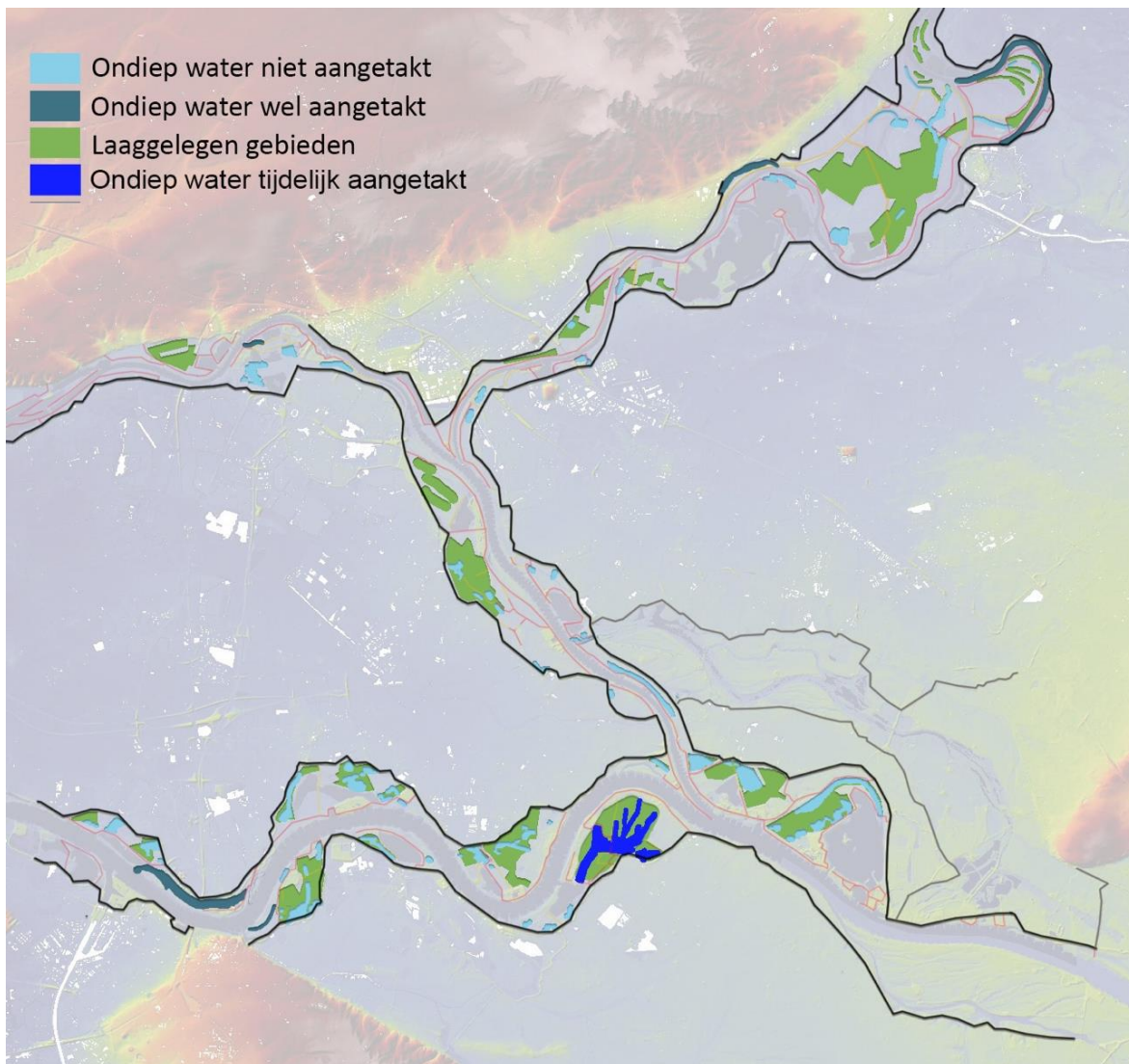
In figuur 4.30 is het oppervlaktewater aangegeven waar kwel in op kan treden. In de Gelderse Poort gaat het op enkele uitzonderingen na om wateren die geïsoleerd liggen van de rivier (type 3). De waterstand schommelt hier mee met de dynamiek van de rivier. Tijdens een periode van hoge rivierstanden stroomt ondergronds kwelwater toe en stijgt het peil. Als het rivierpeil lager is, daalt het peil weer. Verreweg het grootste aantal wateren van type 3 ligt in het de uiterwaarden lande de Boven-Rijn en de Waal.

Nevengeulen die aan de rivier zijn aangetakt (type 1-geulen) zijn er maar weinig in de Gelderse Poort. De Spiegelwaal is de meest in het oog springende, maar ook de historische meander van de Fraterwaard kan als een eenzijdig aangetakte nevengeul worden gezien. In beide is de waterstand overal gelijk aan de stand benedenstrooms. Bij de Spiegelwaal, die ca 3 km lang is, betekent dit dat aan de stroomopwaartse zijde er een peilverschil is met de rivier van ca 30 cm, wat een permanente kwelstroom op gang zal brengen via de ondergrond. Andere eenzijdig aangetakte strangen met een permanente kwelstroom liggen in de Stadswaard bij Nijmegen, Meinerswijk bij Arnhem en bij Rheden langs de IJssel, wat ook een deels afgesneden meander is.

In de Millingerwaard ligt de enige nevengeul van het type 2, die een deel van het jaar is afgesloten als het waterpeil onder het niveau van een dam in de uitstroom zakt. De kwelstroom stopt daarom in een deel van het jaar, maar stroomt wel gedurende de overige ca 170 dagen. Vanwege de grote lengte van de nevengeul (ca 3 km) is de kwelstroom hier ook vrij sterk. Dit heeft zich al vertaald in een rijke waterplantenontwikkeling in de nieuwe geulen van de Millingerwaard met verschillende fonteinkruiden, waterranonkels en Pijlkruid.

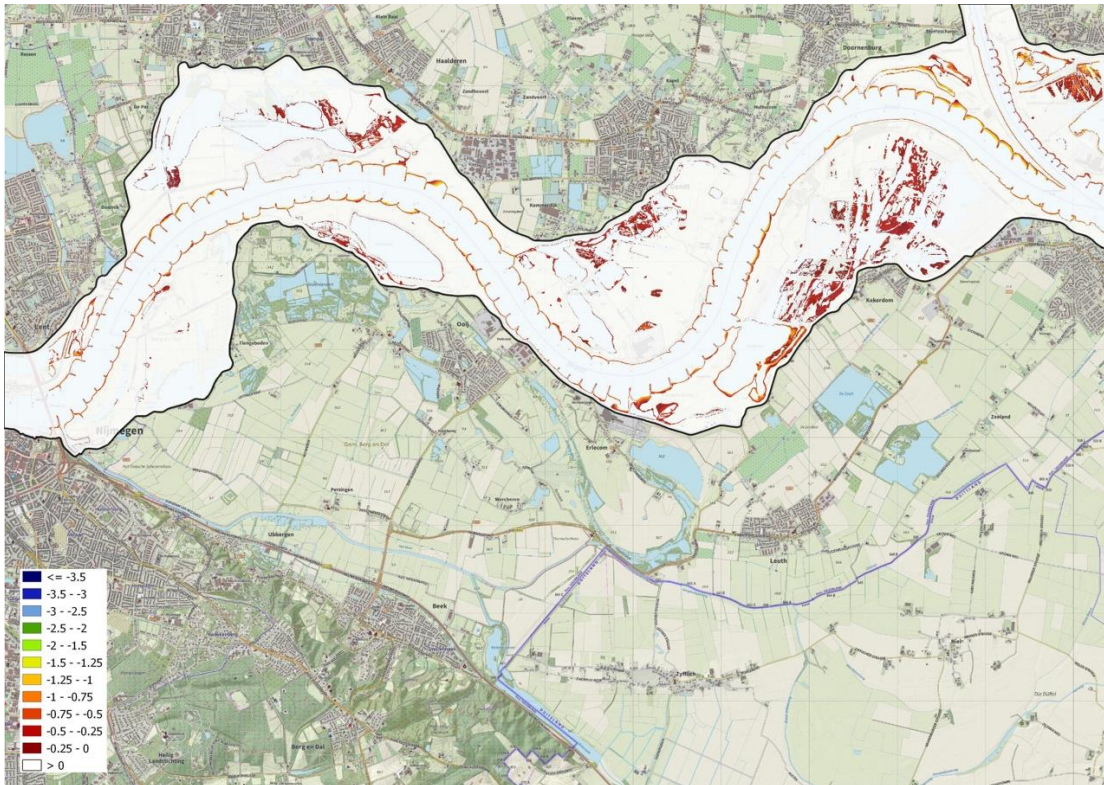


Foto van een van de eenzijdig aangetakte nevengeulen in de Millingerwaard (een type 2 geul).

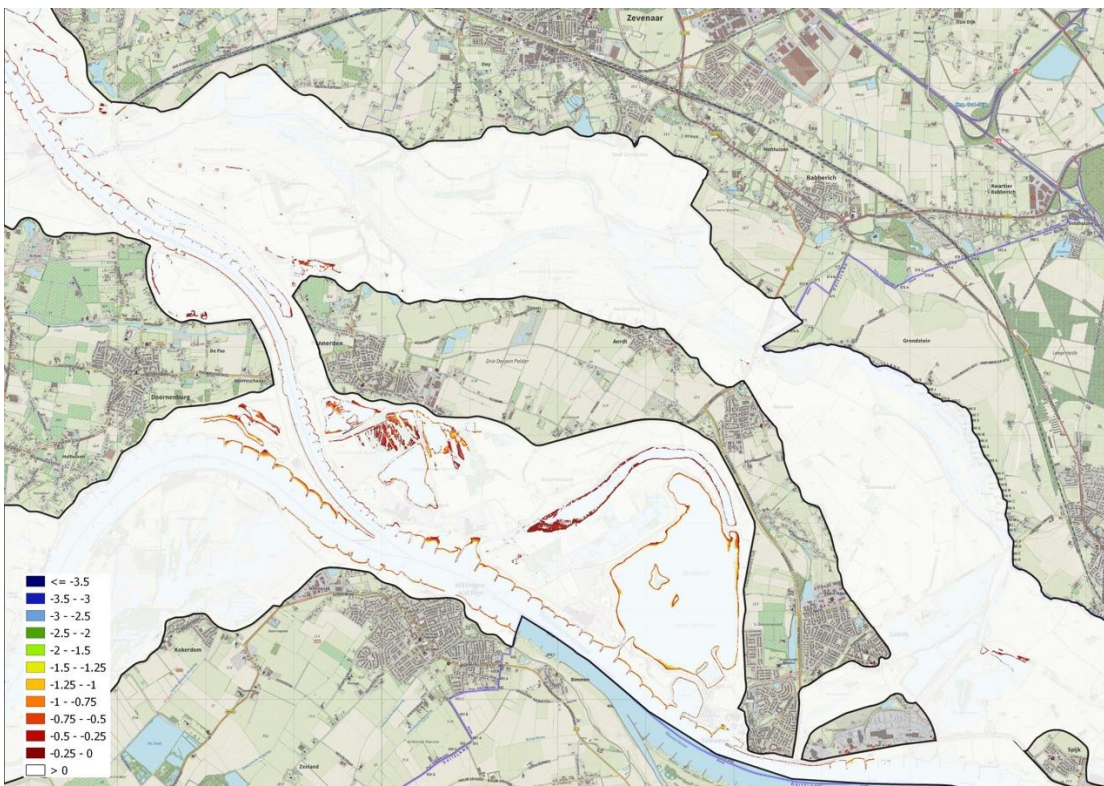


Figuur 4.30. Wateren en laaggelegen gebieden in de Gelderse Poort waar rivierkwel op kan treden. Toelichting zie tekst.

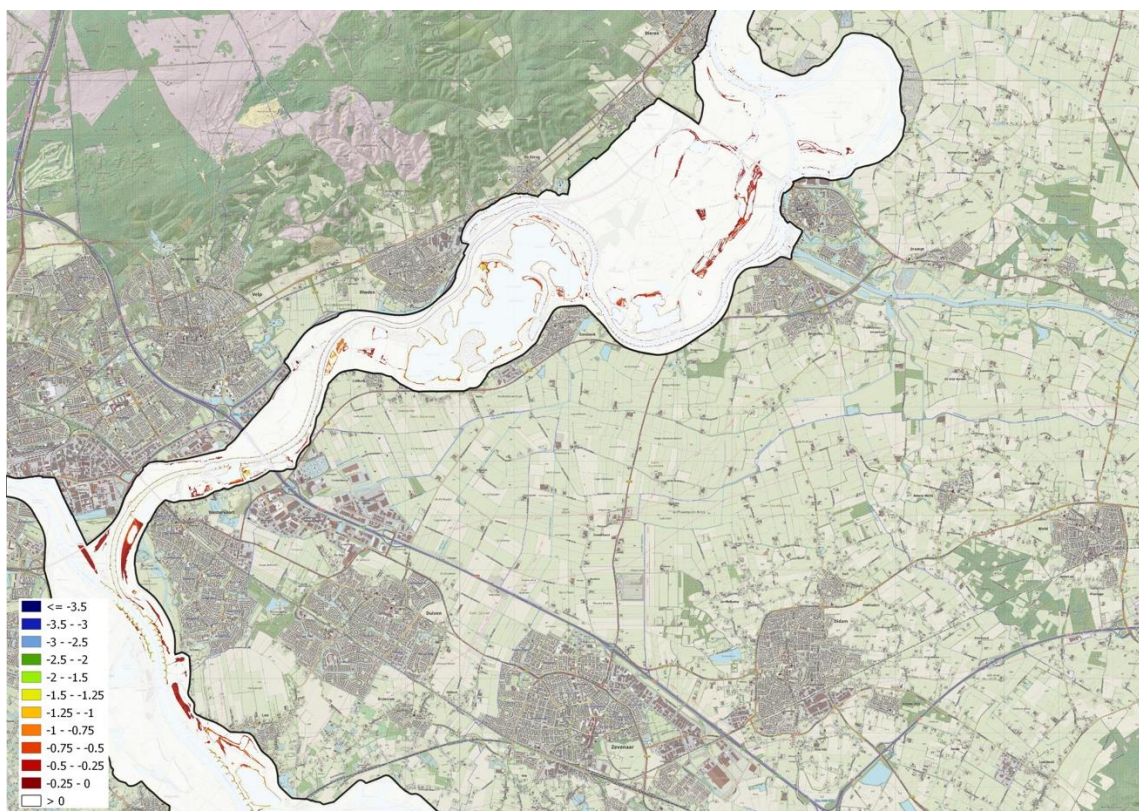
De frequentie waarmee rivierkwel in type 3, 4 en 5 gebieden kan optreden hangt af van de terreinhoogte in de uiterwaarden. In figuur 4.31 is een ruimtelijk beeld weergegeven van het hoogteverschil tussen het maaiveld in de buitendijkse gebieden en waterstanden in de aangrenzende riviertrajecten van de Waal bij een Boven-Rijnafvoer van 3.000 m³/s. De delen waar bij die afvoer kwel optreedt zijn gekleurd weergegeven. Het gaat om de meest laaggelegen deel van de uiterwaarden, veelal de oeverzones rondom geulen en strangen. Het oppervlaktewater zelf ligt nog wat lager, maar is in deze figuur niet aangegeven omdat de hoogtegegevens niet in de AHN zijn opgenomen. Figuur 4.32 en 4.33 zijn vergelijkbare kaarten voor de Neder-Rijn en de Boven-IJssel.



Figuur 4.31. Hoogteverschil tussen het maaveld in de binnen- en buitendijkse gebieden en waterstanden in de aangrenzende riviertrajecten van de Waal en de Neder-Rijn bij een Boven-Rijnafvoer van $3.000 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 4.32. Als figuur 4.31, maar dan voor het riviertraject van de Boven-Rijn en Neder-Rijn bij een Boven-Rijnafvoer van $3.000 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 4.33. Als figuur 4.31, maar dan voor het riviertraject van de Boven-IJssel bij een Boven-Rijnafvoer van 3.000 m³/s.

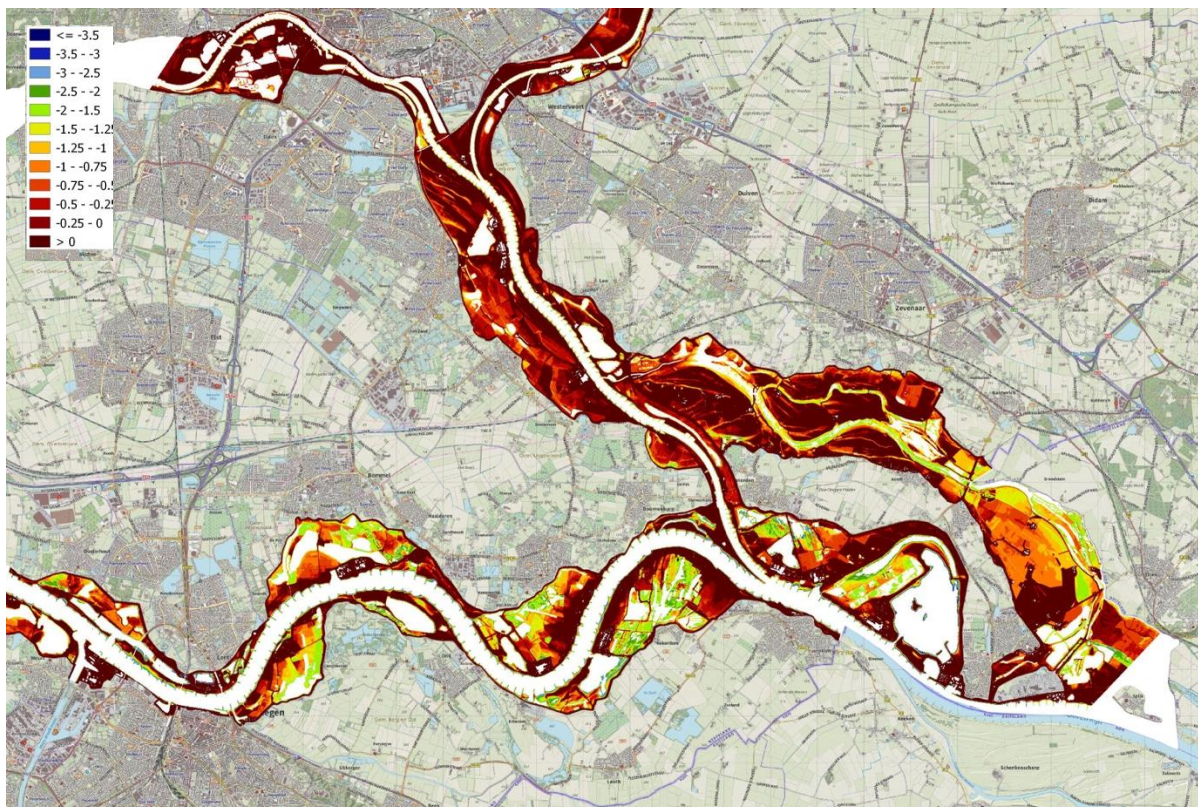
In tabel 4.5 is de duur van de rivierkwel aangegeven voor gebieden met een verschillende hoogte: respectievelijk het oppervlaktewater (type 3-gebieden), de lage terreinen (vaak voormalige kleiwinningen) die tijdelijk droogvallen (type 4-gebieden) en de niet vergraven terreinen (type 5). Veel van het oppervlaktewater kan gedurende 70 tot 125 dagen per jaar te maken krijgen met de influx van rivierkwel. Terreinen die in de zomer droogvallen, zoals voormalige kleiwinningen (vooral langs de Waal) en kronkelwaardgeulen (bv in de Fraterwaard) liggen hoger en hier treedt zo'n 40 tot 60 dagen per jaar rivierkwel op. Het maaiveld buiten deze lage delen zelf ligt vaak zo hoog dat hier maar 10 tot 25 dagen kwel op zal treden. Dit is niet veel meer dan de overstromingsfrequentie tijdens hoogwater, dus kwel is hier niet echt aan de orde.

Tabel 4.5. Maaiveldhoogten aan de uiteinden van de riviertrajecten en de gemiddelde waterstand op dat punt. NB. De Millingerwaard die in de tekst als voorbeeld wordt genoemd, ligt ongeveer ter hoogte van de Pannerdensch Kop.

	Gemiddelde waterstand	Opp. water uiterwaard	dgn met rivierkwel	Laagste maaiveld in de uiterwaardvlakte	dgn met kwel	Maaiveld uiterwaardvlakte	dgn met kwel
Lobith	9,25	9,5 - 10	75 - 125	10,5 - 11	40 - 55	12,5 - 13,5	5 - 12
Pann. Kop	8,95	8,2 - 9,5	80 - 250	9,3 - 10	60 - 100	11 - 12	12 - 25
Nijmegen	7,50	7,5 - 8	70 - 100	9 - 9,5	20 - 30	9,5 - 10,5	10 - 20
IJsselkop	8,35	8,5 - 9	70 - 100	9 - 9,5	40 - 60	9,5 - 10,5	10 - 25
Driel	7,95	-	-	-	-	9 - 9,5	10 - 15
Dieren	5,90	6 - 6,5	75 - 125	7 - 7,5	30 - 50	7,5 - 8,5	10 - 30

Uit figuur 4.30 blijkt dat type 3 gebieden in de Gelderse Poort vooral te vinden zijn langs de Boven-Rijn en Waal. Er liggen hier relatief veel plassen en strangen. Type 4 gebieden, laaggelegen uiterwaarden die slechts een deel van het jaar onder water staan vinden we langs alle riviertrajecten.

Het zijn vaak grotere vlakken waar ook een deel van de type 3 gebieden in liggen. Bij een gemiddelde rivierafvoer ($2.250 \text{ m}^3/\text{s}$) zijn er nergens type-4 gebieden waarvan het maaiveld lager ligt en in de meeste lage delen begint rivierkwel pas bij een hogere afvoer. Bij de Millingerwaard bijvoorbeeld, die ongeveer ter hoogte ligt van de Pannerdensche Kop, ligt het laagste gebied op ca $9,5 \text{ m} +\text{NAP}$, terwijl de gemiddelde waterstand er $8,95 \text{ m}$ bedraagt. Rivierkwel is hier aan het maaiveld merkbaar vanaf een afvoer van ca $2.500 \text{ m}^3/\text{s}$, wat maximaal 100 dagen per jaar gebeurt. Zoals de tabel laat zien is dit een relatief hoge waarde, want in de meeste andere riviertrajecten liggen ook de lage gebieden zo hoog dat kwel veelal tussen de 30 en 60 dagen optreedt. Langs de IJssel bijvoorbeeld liggen oude meanders en kronkelwaardgeulen in de Havikerwaard en Fraterwaard rond de $7 \text{ m} +\text{NAP}$, en rivierkwel zal hier pas merkbaar zijn als de Boven-Rijnafvoer boven de $3.000 \text{ m}^3/\text{s}$ uitstijgt, wat ca 60 dagen per jaar gebeurt.



Figuur 4.34. Hoogteverschil tussen het maaiveld in de uiterwaarden/Rijnstrangen en de waterstand in het aangrenzende riviertraject bij een Boven-Rijnafvoer van $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

In figuur 4.34 is op dezelfde wijze als in figuur 4.30 het hoogteverschil aangegeven tussen de rivierstand en de maaiveldhoogte, maar nu bij een afvoer van ca $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Het verschil tussen het maaiveld en de rivierwaterstand is nu op veel plaatsen zo groot geworden dat een kwelstroom op gang zal komen. Ook kan nu in de hogere delen kwel optreden. Deze afvoer komt echter maar ca 12 dagen per jaar voor, zodat het totale effect niet heel groot zal zijn.

Veranderingen in rivierkwel in de afgelopen eeuw

Rivierkwel in de lagere delen van de uiterwaarden en al helemaal in de uiterwaardvlakte treedt dus relatief weinig op. Dat is niet altijd zo geweest. In grote lijnen was de situatie zoals die nu optreedt bij een Boven-Rijnafvoer van $5.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ongeveer vergelijkbaar met de situatie van een eeuw geleden bij $3.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Ook hier is de bodemdaling van het zomerbed de belangrijkste oorzaak dat de frequentie waarop kwel optreedt sterk is afgenomen.

In tabel 4.6 is voor de afvoerreeks van Lobith de waterstand weergegeven voor een achttal afvoeren. De daling bedraagt ongeveer zo'n 2 meter en rond de gemiddelde afvoeren is deze het hoogst. Voor een oppervlaktewater ter hoogte van Lobith met een hoogte van ca 10 meter betekent dit dat rivierkwel hier vroeger al optrad bij een afvoer van ca 1500 m³/s, terwijl dat tegenwoordig pas bij ca 2750 m³/s zal optreden.

Tabel 4.6. Waterstandverandering Lobith tussen 1901 en 2022 bij lage tot licht verhoogde afvoeren.

Afvoer m ³ /s	Overschrijding in d/j en kans/j	1901	2022	Verandering 1901-2022
1000	17	9,1	7,3	-1,8
1500	95	10,2	8,3	-1,9
2000	190	11,15	9,05	-2,1
2250	265	11,55	9,35	-2,2
2500	305	11,9	9,7	-2,2
3000	325	12,5	10,35	-1,85
4000	340	13,45	11,55	-1,9
5000	353	14,2	12,55	-1,65

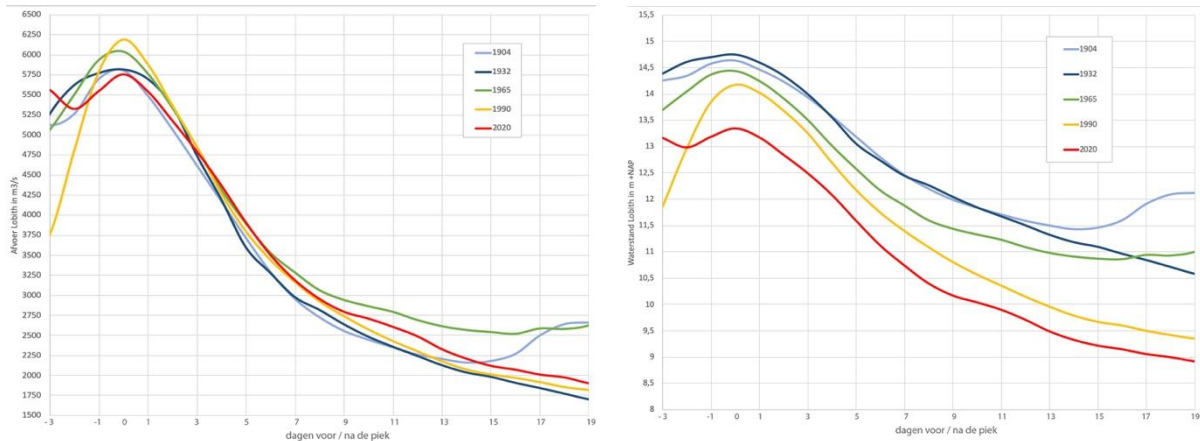
Ter hoogte van Doesburg langs de Boven-IJssel is de situatie in grote lijnen vergelijkbaar met die langs de Waal en de Boven-Rijn. Alleen speelt hier mee dat de lage en gemiddelde waterstanden minder zijn gedaald omdat vanwege de stuw van Driel meer water over de IJssel stroomt (zie tabel 4.6). Het extra water en de hogere waterstanden die dat oplevert hebben echter geen invloed op het voorkomen van rivierkwel. Het oppervlaktewater ligt namelijk op ca 6,5 m +NAP en tegen de tijd dat het rivierpeil die waarde bereikt wordt er al geen extra water meer naar de IJssel afgevoerd. Rivierkwel in deze locaties komt nu nog zo'n 60 dagen per jaar voor. Voordat de bodemdaling hier begon was er al sprake van rivierkwel bij een afvoer vanaf ca 1500 m³/s, wat 270 dagen per jaar optrad.

Tabel 4.7. Waterstandverandering bij Doesburg tussen 1901 en 2022 bij lage tot licht verhoogde afvoeren. De cijfers tussen haakjes bij 2022 zijn de waarden zonder de werking van de stuw bij Driel.

Afvoer m ³ /s	Overschrijding in d/j en kans/j	1901	2022	Verandering 1901-2022
1000	17	5,6	4,5 (3,9)	-1,1 (-1,7)
1500	95	6,5	5,5 (4,9)	-1,0 (-1,6)
2000	190	7,2	6,15 (5,7)	-1,05 (-1,5)
2250	265	7,5	6,3 (6,1)	-1,2 (-1,4)
2500	305	7,8	6,5	-1,3
3000	325	8,35	7,0	-1,35
4000	340	9,1	8,1	-1,2
5000	353	9,5	8,8	-0,7

De zomerbeddaling heeft ook tot gevolg dat de waterstand na een hoogwater tegenwoordig veel sneller weer is teruggezakt naar een niveau onder het maaiveld. De rivierkwel slaat daarom al snel weer om in wegzijging.

In figuur 4.35 zijn 5 hoogwatergolven van ca 6.000 m³/s met tussenpozen van ca 30 jaar vergeleken. Het afvoerverloop van deze golven was vergelijkbaar, maar het waterstandsverloop wijkt sterk af. Behalve dat de golf lager blijft, zakt deze ook veel sneller terug. Het peilverschil tussen het in de uiterwaard aanwezige water en de waterstand in de rivier neemt bij ongeveer vergelijkbare hoogwatergolven dus sneller toe dan in het verleden en de wegzijging van water zal daarom ook sneller verlopen, waardoor de uiterwaard eerder opdroogt.



Figuur 4.35. Verloop van afvoer (links) en waterstand (rechts) bij enkele historisch opgetreden hoogwatergolven voor Lobith.

Rivierkwel in de uiterwaarden en de invloed op de ecologie

- Rivierkwel is een belangrijk proces in de uiterwaarden omdat zo relatief helder water via de ondergrond naar het oppervlaktewater in de uiterwaarden kan worden gevoerd. Dit water heeft doorgaans een betere kwaliteit dan het rivierwater, wat invloed heeft op de soortensamenstelling en helderheid van de waterkolom.
- Permanente rivierkwel komt alleen voor in aan de stroomafwaartse zijde aan de rivier aangetakte nevengeulen. Deze zijn er maar weinig in de Gelderse Poort en de meeste zijn relatief diep, zodat kwelwater maar beperkt invloed heeft op het ecologisch functioneren.
- Complicerend in aangetakte nevengeulen is vaak dat ze te maken hebben met een sterke waterbeweging a.g.v. de scheepvaart op de rivier. Deze golfslag en zuigwerking kan met name aan de benedenstroomse zijde dominant worden boven de kwelstroom. Het water wordt hierdoor vaak troebeler, waardoor met name limnofiele en rheofiele visfauna zich minder gevarieerd kunnen ontwikkelen (meer 'Brasemwater'). Door nevengeulen af te sluiten met een dam kan dit effect beperkt worden, maar daarmee zal ook de kwelstroom een aantal maanden per jaar stilvallen. De nevengeul in de Millingerwaard is hiervan een voorbeeld. Een ecologisch betere, en wellicht ook elegantere optie kan de aanleg van grote stapstenen zijn, die het rivierkwelwater doorlaten, maar heel goed werken als 'schokbreker' voor de scheepvaartgolven (Peters & Kurstjens, 2020).
- Laaggelegen gebieden in de uiterwaarden hebben tijdens hogere rivierstanden te maken met rivierkwel. Als gevolg van de zomerbeddaling is de frequentie dat dit optreedt echter afgenomen van 175 naar ca 30 dagen en de invloed van de kwel op de waterkwaliteit en daarmee de ecologie is daarom tegenwoordig nog maar beperkt. Ook door sedimentatie met klei neemt de invloed van kwel af, omdat de lage delen hierdoor ophogen en de klei voor een afsluitende laag zorgt. Door de verminderde sedimentatie (zie fig. 4.15) is dit effect steeds kleiner geworden.

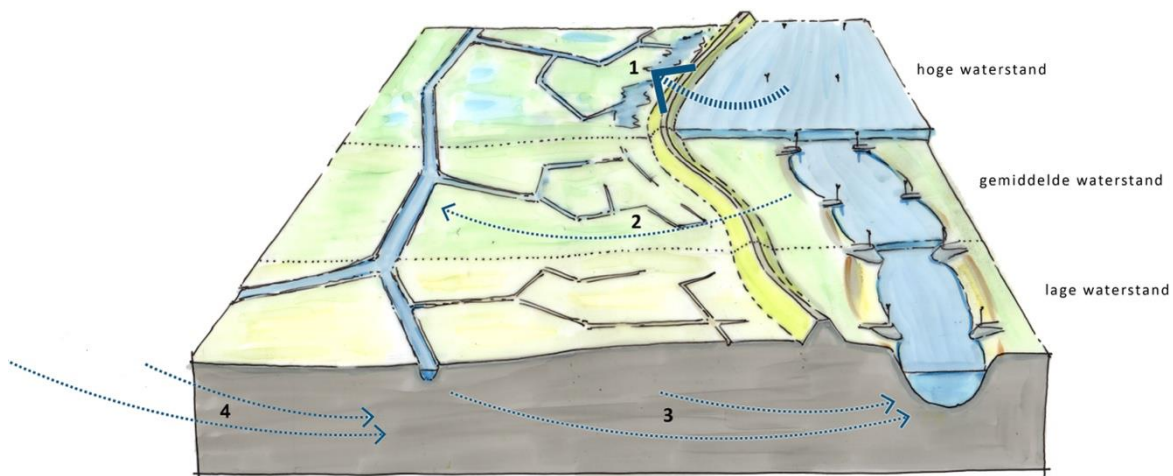
4.5 Grondwaterstromen en kwel naar het binnendijkse gebied.

Binnendijkse gebieden in het rivierengebieden zijn via de dijken afgeschermd van het rivierwater maar desondanks staat ook het binnendijkse gebied onder invloed van het rivierwater. Via zandbanen in de ondiepe ondergrond is er namelijk altijd uitwisseling van water mogelijk. Dit proces wordt *kwel* genoemd, als het om de stroom van water gaat vanaf de rivier naar binnendijs en *wegzijing* bij water dat ondergronds terugstroomt naar de rivier. Daarnaast komen in de Gelderse Poort ook grondwaterstromen voor vanaf het hogere achterland naar de rivier. Met name rond de stuwwallen zijn er locaties waar grondwater tot dichtbij of zelfs aan de oppervlakte treedt.

Bij de grondwaterstromen tussen de rivier en het binnendijkse gebied wordt de mate van uitwisseling tussen buiten- en binnendijks bepaald door 3 factoren: de doorlatendheid van de ondergrond, de afstand tot de rivier en het hoogteverschil tussen de rivierwaterstand en het binnendijkse gebied. In grote lijnen zijn er twee typen grondwaterstroming te onderscheiden:

- Korte kwel naar zone direct achter de dijk, alleen tijdens hoogwater.
- Lange kwel naar laagste delen van de komgebieden; gedurende groter deel van het jaar

Kwel heeft vaak een negatieve klank, maar daarbij wordt over het hoofd gezien dat het om helder water gaat, dat mits het in een gebied goed vastgehouden kan worden, in drogere tijden van het jaar ook heel waardevol kan zijn, zowel voor de natuur als voor de landbouw. In figuur 4.36 is de werking van kwel en wegzijging in het binnendijkse gebied weergegeven.



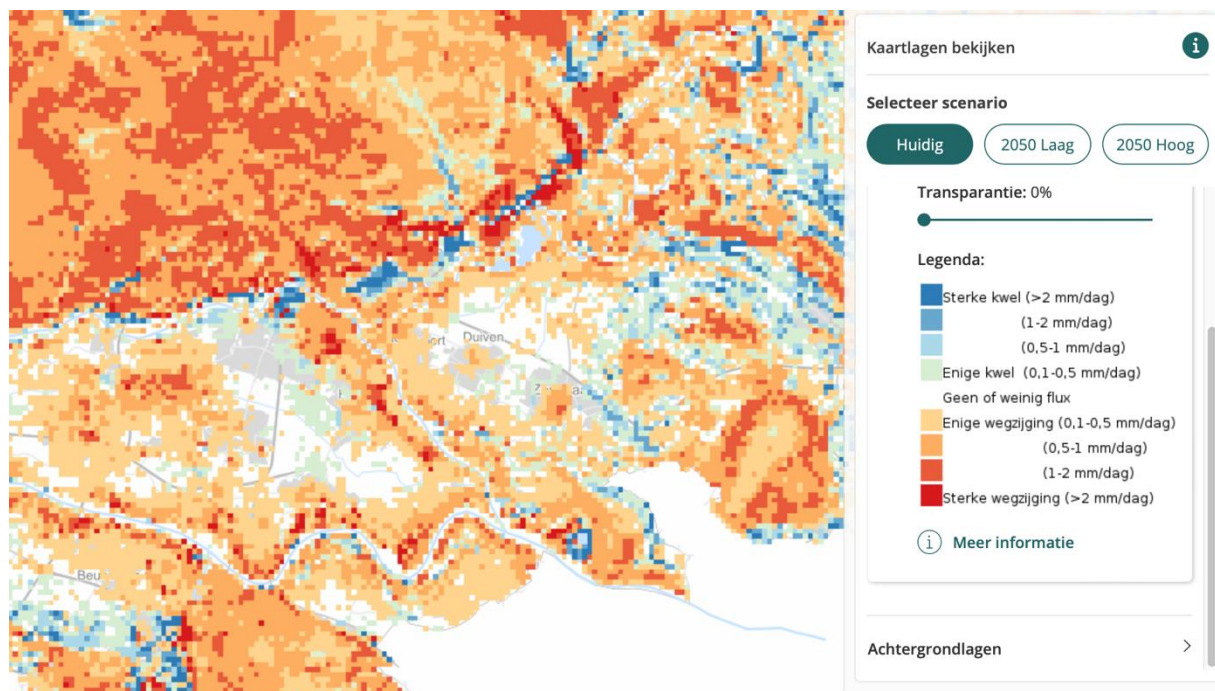
Figuur 4.36. Binnendijkse kwelstromen, waarin de situatie tijdens verschillende rivierwaterstanden is weergegeven:

- 1. Situatie tijdens hoogwater, als er een grote kwelstroom op gang komt, die vooral direct achter de dijk voor hoge waterstanden zorgt. Het binnendijkse netwerk van sloten begint dan te stromen en het water wordt afgevoerd naar een wetering in het meest laaggelegen gebied. Ter hoogte van het komgebied, waar de wetering ligt, komt ook kwel omhoog, zodat daar lokaal het water aan het maaiveld kan komen. Dit water is langer onderweg en het proces verloopt er trager. Via de wetering wordt het kwelwater afgevoerd naar een gemaal verder stroomafwaarts, die het weer terugvoert naar de rivier.*
- 2. Situatie tijdens meer gemiddelde omstandigheden. De kwelstroom is nu veel minder groot en stroomt alleen nog naar de laagste delen van het komgebied. Achter de dijk ligt het gebied meestal te hoog om nog kwel te ontvangen en het slotenstelsel droog ook weer uit.*
- 3. Situatie tijdens lage rivierwaterstanden. Nu is er een omgekeerde waterbeweging en het hele binnendijkse gebied stroomt nu ondergrond langzaam leeg naar de rivier.*
- 4. Ongeacht de rivierwaterstand is er in uiterwaarden die grenzen aan hoge gronden (stuwwallen) een permanente grondwaterstroom (zie ook fig 4.37).*

Kwel onder normale omstandigheden

De klimaateffect-atlas laat voor vrijwel het hele gebied zien dat er gemiddeld sprake is van wegzijging (zie figuur 4.37). Dit is verklaarbaar omdat een groot deel van het gebied hoger ligt dan de gemiddelde waterstand in de rivier (zie ook tabel 4.8). De oeverwal in deze tabel betreft de historische oeverwal, die is ontstaan voor de bedijking. De oeverwal ligt overal ruim hoger dan de waterstand in de rivier, maar ook de kommen liggen 1 tot 2 m hoger. De enige uitzondering hierop is het traject van de Neder-Rijn tussen Arnhem en Driel waar de Rijn gestuwd is en de gemiddelde

waterstand rond of iets hoger is dan het maaiveld in de kom. In de laaggelegen delen van het Hollanderbroek tussen Elst en Driel zou dit merkbaar kunnen zijn.



Figuur 4.37. Uitsnede uit de klimateffect-atlas van de kaart waarin de mate van kwel is weergegeven. Het gaat hier om de gemiddelde situatie gedurende het jaar.

Tabel 4.6. Maaiveldhoogten langs de riviertrajecten en de gemiddelde waterstand op dat punt.

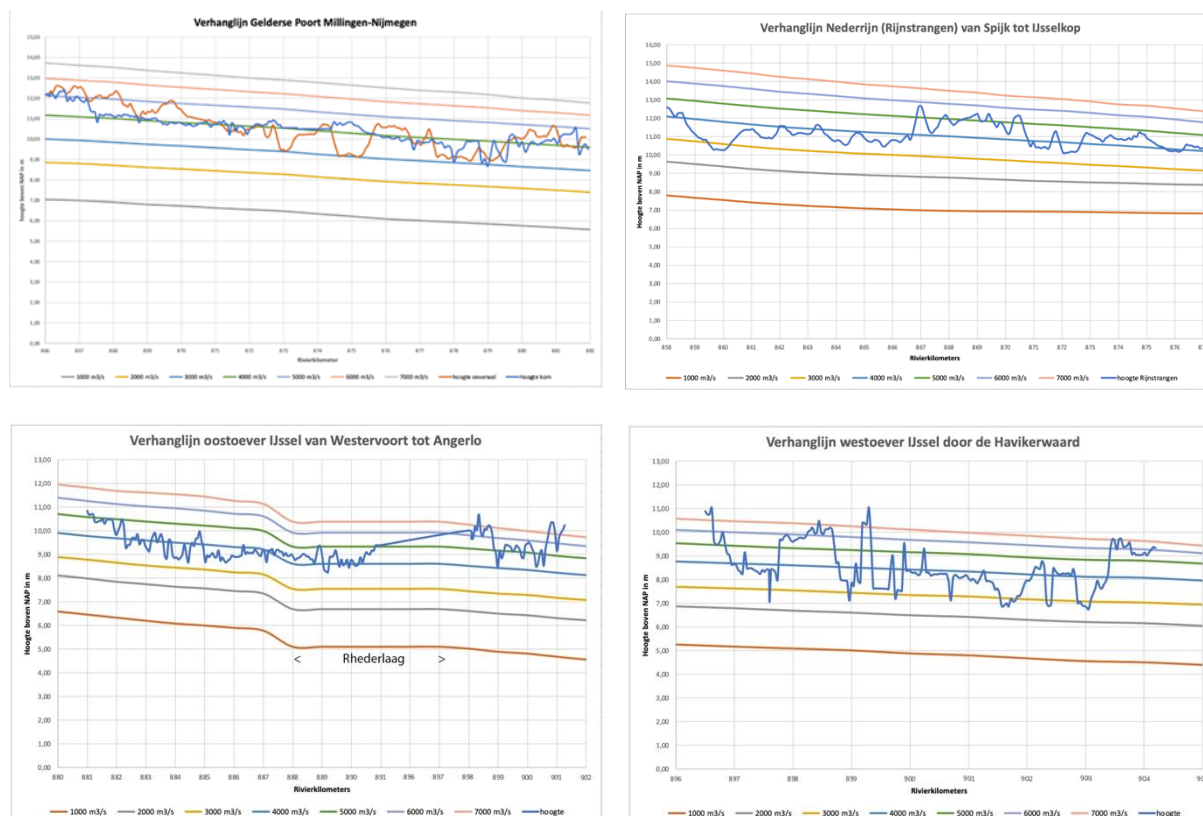
	Gemiddelde waterstand	Maaiveld binnendijkse kom	Maaiveld historische oeverwal
Lobith (Boven-Rijn)	9,25	11,5 - 12	13,5 – 14
Pannerdensche Kop	8,95	11 – 11,5	12 – 12,5
Nijmegen	7,50	9,5 – 10	10 – 10,5
IJsselkop	8,35	9 – 9,5	10,5 – 11
Driel	7,95	7,5 – 8	9 – 9,5
Dieren	5,90	7,7 – 8,2	9,5 – 10

Figuur 4.37 laat enkele gebieden zien waar gemiddeld over het jaar wel kwel optreedt. Het gaat hierbij om de randen van de stuwwallen. Vooral aan de voet van de Veluwe langs de Neder-Rijn en IJssel zijn grote gebieden aanwezig. Het gaat hierbij om gebieden die in het IJsseldal liggen, maar sinds de aanleg van de snelweg tussen Arnhem en Dieren binnendijks zijn komen te liggen. In enkele van de kwelgebieden langs de Veluwezoom ontspringen beekjes die afwateren naar de IJssel. Volgens Prins (2022) valt de locatie waar kwel vanaf de stuwwal aan het maaiveld zou kunnen komen vaak samen met locaties met een detailafwatering die veel van de lokaal aanwezige kwel afvangt. In de lagere delen van het Rijnstrangengebied is ook kwel aanwezig en ook de Wildt die hier in het gebied uitstroomt, voert voor een deel kwelwater af dat vanuit de Elterberg naar de beek is gestroomd. In de Ooijpolder is aan de voet van de stuwwal kwel aanwezig ter hoogte van Ubbergen en Beek. Dit kwelwater voedt ook hier enkele kleine stroompjes die afwateren op het meertje

Binnendijkse kwel in relatie tot rivierwaterstanden

De kwelsituatie in het binnendijkse gebied kan snel veranderen als de waterstanden in de rivier omhooggaan. Vanaf een Boven-Rijn afvoer van ca 3.000 – 4.000 m³/s is het waterpeil in de rivier gelijk aan het maaiveld in de lagere delen van de uiterwaarden en ontstaat een grondwaterstroom van buiten- naar binnendijks.

In figuur 4.38 is voor een zevental Boven-Rijnafvoeren de verhanglijnen weergegeven van de waterstand in een riviertraject en de hoogte door het laagste deel van van het binnendijkse maaiveld. Bij een afvoer van 3.000 m³/s (okergele lijn) zijn er binnendijks nog vrijwel nergens gebieden waar kwel optreedt, met uitzondering van een gebied langs de Boven-IJssel ten noorden van Westervoort, het Lathumse broek, waar lichte kwel op kan treden. Bij 5.000 m³/s (groene lijn) is de kwelsituatie sterk veranderd en zijn met name in de lagere delen (komgebieden en historische lopen) grote verschillen ontstaan tussen de waterstand in de rivier en de maaiveldhoogte.



Figuur 4.38. Verhanglijnen van de waterstand in de rivier bij verschillende afvoeren in de Gelderse Poort (linksboven) het Rijnstrangengebied (rechtsboven), de oostelijke IJsseloever (linksonder) en de Havikerwaard (rechtsonder). De blauwe lijn is de maaiveldhoogte in het laagste deel van de binnendijkse kom. Bij de Gelderse Poort is ook de lijn door (het laagste deel van) de oeverwal weergegeven, direct achter de winterdijk (oranje lijn).

Als we de drie binnendijkse gebieden met elkaar vergelijken dan valt op dat in de Gelderse Poort (figuur 4.38, linksboven) de kwelstroom relatief laat op gang komt; zelfs in de laagste delen pas vanaf 4.000 m³/s. De relatief sterke bodemdaling van dit riviertraject is hier waarschijnlijk de oorzaak van. In de dwarsdoorsnede van de Ooijpolder is zowel de hoogte van de oeverwal als die van de kom aangegeven. Het valt op dat de hoogteverschillen relatief klein zijn en soms ligt de oeverwal zelfs lager. Dit wordt veroorzaakt door de vele vergravingen die in de oeverwal zijn uitgevoerd t.b.v. de kleiwinning en ook vinden we hier de oude meander van de Ooijse Graaf (ter hoogte van RKM875) en de Groenlanden (RKM 878 en 879 (Groenlanden) treedt dan kwel op. De kom ligt vrijwel nergens onder de 4.000 m³/s, behalve lokaal tussen RKM878 en 880, ter hoogte van Persingen bij het Meertje. Bij 5.000 m³/s is er overal sprake van kwel, behalve helemaal boven- en benedenstrooms.

In de Rijnstrangen (figuur 4.38, rechtsboven) valt op dat het maaiveld van oost naar west (links naar rechts) weinig afloopt. Dit is veroorzaakt doordat in het oosten relatief veel kleiwinningen zijn uitgevoerd en in het westen het maaiveld nog op het oorspronkelijke niveau ligt. In het oosten komt

het maaiveld daarom al tussen 3000 en 4000 m³/s onder invloed van kwel vanuit de rivier, in het westen is dat pas tussen 4000 en 5000 m³/s.



Foto van de Ooijse Graaf met volop waterplanten- en moerasontwikkeling.

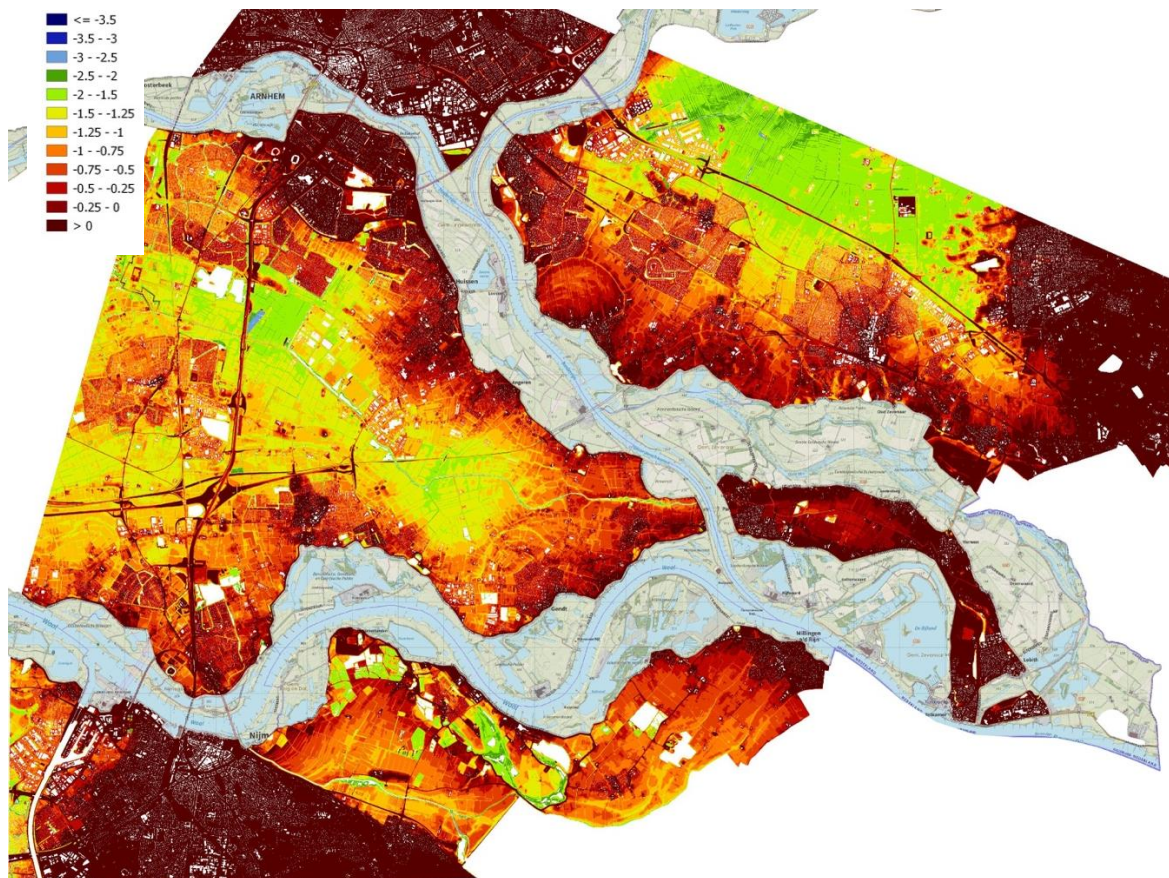
Langs de Boven-IJssel (figuur 4.38, linksonder) is het benedenstrooms aangetakte Rhederlaag bepalend voor de waterstand in een groot traject. De verhanglijnen lopen daar daarom vlak. In het grootste deel van dit traject kan kwel pas aan het maaiveld komen boven 4.000 m³/s; alleen tussen RKM 883 en 886 al nabij de 3.000 m³/s.

In de Havikerwaard (figuur 4.38, rechtsonder) zijn er grote verschillen in maaiveldhoogte vanwege enkele historische geulen en als gevolg van de delfstoffenwinningen die hier plaats hebben gevonden en nog steeds vinden. De laagste gebieden (geulen) komen rond de 3000 m³/s onder invloed van rivierkwel, de ontkleide gebieden vanaf ca 4.000 m³/s en de hogere delen pas rond 6.000 m³/s.

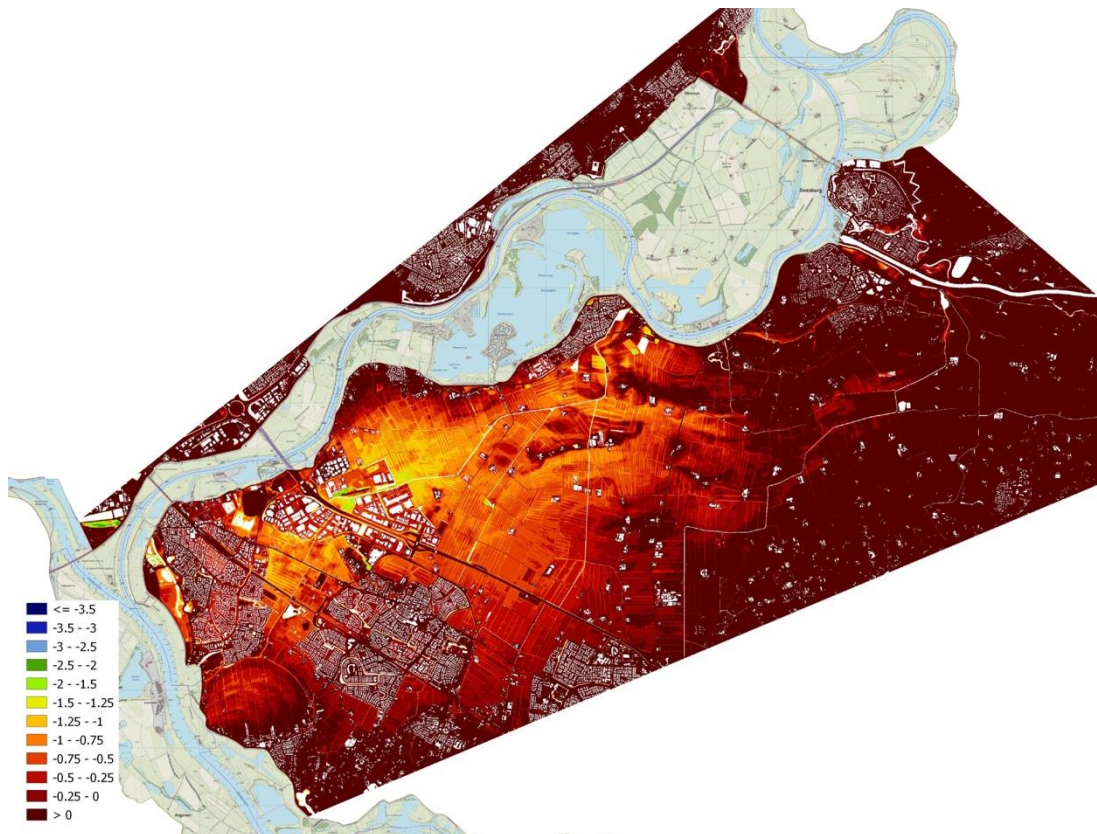
In figuur 4.39 en 4.40 is een ruimtelijk beeld weergegeven van het hoogteverschil tussen het binnendijkse maaiveld en de buitendijkse waterstanden in de aangrenzende riviertrajecten bij een Boven-Rijnafvoer van 5.000 m³/s. Deze waterstanden komen ieder jaar iets meer dan 10 dagen voor. In figuur 4.39 gaat het om het verschil met de waterstand in de Waal en de Neder-Rijn, in 4.40 om de stand in de IJssel. De volgende zaken vallen op:

- In de Ooijpolder is het peilverschil relatief gering, in vergelijking met de andere grotere komgebieden. daarentegen zijn hier direct achter de oeverwal grote kleiwingebieden (oa Groenlanden) waar de kweldruk groot zal zijn.

- In de Rijnstrangen is alleen in en direct langs de oude rivierlopen sprake van kwel. In de Over Betuwe valt het gebied met de grootste peilverschillen samen met het gebied waar park Lingezeegen is aangelegd.
- Het gebied met de grootste peilverschillen tussen de rivier en het binnendijkse gebied ligt ten noorden van Zevenaar en Duiven. Ondanks dat dit gebied bijna overal dichterbij de IJssel ligt en daarheen ook afwatert, is het grootste deel van de kwel hier afkomstig vanuit de Neder-Rijn. Dit is goed te zien door de beide kaarten met elkaar te vergelijken in het gebied waar ze overlappen. Ten noorden van Duiven is daar vanuit de IJssel sprake van slechts een waterstandsverschil van ca 50 -75 cm, terwijl dat vanuit de Neder-Rijn tussen de 1,5 en 2 m ligt.
- Verder stroomafwaarts langs de IJssel is er aan de oostkant van de rivier maar weinig kans op kwel. Vooral het nivellerende effect van het Rhederlaag, dat tot zeer hoge afvoeren de waterstand heeft van het benedenstroomse punt waar de plas met de IJssel is verbonden, is hier debet aan.
- In de Havikerwaard is er alleen sprake van een groot hoogteverschil in de oude rivierarmen die er liggen (Lamme IJssel) en in mindere mate in de vele kleiafgravingen. De rest van het gebied ligt zo hoog dat er bij 5.000 m³/s nog geen kwel optreedt. Het laat zien dat de Havikerwaard geen komgebied is, zoals de binnendijkse gebieden langs de Neder-Rijn en Waal.



Figuur 4.39. Hoogteverschil tussen het maaiveld in de binnen- en buitendijkse gebieden en waterstanden in de aangrenzende riviertrajecten van de Waal en de Neder-Rijn.



Figuur 4.40. Hoogteverschil tussen het maaiveld in de binnen- en buitendijkse gebieden en waterstanden in de aangrenzende riviertrajecten van de IJssel.

Veranderingen in de mate van kwel in de loop der tijd

Ook de grondwaterstroom tussen buiten- en binnendijks is sterk veranderd als gevolg van de bodemdaling van het zomerbed. Uit de historische waterstandsgegevens blijkt dat er in de lage komgebieden aan weerszijden van de Waal en de Neder-Rijn in het verleden al vanaf een gemiddelde Rijnafvoer (ca 2.250 m³/s) sprake van een kwelstroom naar binnendijks. Dit betekent dat er vroeger ca 130 dagen sprake was van een waterstroom vanuit de rivier naar het binnendijkse gebied, terwijl kwel nu pas optreedt vanaf ca 3.500 m³/s, wat nog slechts op 30 dagen het geval is. Ook voor de hogere delen zijn de veranderingen groot. Zo is er op de bewoonde delen van de historische oeverwallen langs de Waal en de Neder-Rijn nu pas sprake van kwel boven een afvoer van ca 6.000 m³/s, terwijl dat vroeger al vanaf 4.000 m³/s gebeurde. De frequentie van kwel en de daarmee gepaard gaande overlast is dan ook afgenomen van ca 25 dagen naar slechts 5 dagen per jaar.

Langs de IJssel is de afname in dagen dat kwel optreedt minder groot dan elders in de Gelderse Poort. Dit wordt enerzijds veroorzaakt doordat de waterstanden bij hogere afvoeren minder sterk zijn gedaald dan langs de Waal. Bij een afvoer van 6.000 m³/s bijvoorbeeld is de waterstand langs de IJssel nu slechts 30 cm lager dan rond 1900, terwijl dat langs de Boven-Rijn bij Lobith ca 1,3 m is. Ook ligt het binnendijkse gebied vaak hoger, m.u.v. de historische geulen in het gebied. Voor de lagere delen in het binnendijkse gebied (niet zijnde de historische geulen) betekent dit dat de kwelstroom nu nog ca 10 dagen actief is, terwijl dat vroeger ca 25 dagen het geval was. Voor de hogere delen, waar ook de bewoning is, is dat nu nog slechts enkele dagen eens in de twee jaar, terwijl dat voorheen ca 5 dagen per jaar was.

Al met al betekent dit dat de afvoer van opkomend grondwater vanuit het binnendijkse gebied in de loop der tijd geringer zal zijn geworden. Er is een hogere afvoer voor nodig om dezelfde stand te bereiken. De drooglegging in het gebied zal daarom makkelijker te handhaven zijn dan vroeger en de

afvoeren van binnen- naar buitendijks gedurende een hoogwatergolf met hetzelfde debiet zullen daarom ook kleiner zijn geworden.

Samenvatting grondwaterstromen tussen buiten- en binnendijks

In de grote binnendijkse gebieden, inclusief de Havikerwaard, komen kwelstromen vanuit de aangrenzende rivieren pas op gang vanaf een bovengemiddelde Boven-Rijn afvoeren. Het eerste gebied waar kwel op gang kan komen, omdat de waterstand in de rivier uitstijgt boven het binnendijkse maaiveld, is het laaggelegen deel van het Duivense en Zevenaarse Broek tegen de gelijknamige plaatsen aan. Het gaat hier dan om kwel vanuit de Neder-Rijn. Daarna volgt de Over-Betuwe, de Ooijpolder en tenslotte het noordelijke deel van het Duivense en Zevenaarse Broek dat wel onder invloed staat van de IJssel, maar waar de waterstand in het Rhederlaag voor een permanente verlaging zorgt.

De meeste kwel treedt op in laaggelegen gebieden direct achter de dijk. Deze liggen juist weer wel veel in de Ooijpolder omdat daar veel gebieden zijn ontkleed. In de Rijnstrangen en de Havikerwaard zijn het vooral oude rivierlopen waar als eerste kwel zal optreden. Zodra kwel optreedt in gebieden achter de winterdijk wordt dit water via een uitgebreid netwerk van sloten afgevoerd naar een wetering in het laagste deel van de kom.

De periode dat kwel optreedt duurt tegenwoordig nog maar gemiddeld ca 30 à 40 dagen, terwijl dat vroeger in veel laaggelegen gebieden op kon lopen tot 100 à 130 dagen. De oorzaak is opnieuw de daling van het zomerbed. Deze verandering is het grootst in de Ooijpolder en het minst groot in de Havikerwaard. Echter, dit laatste gebied ligt relatief hoog en hier was daarom altijd al op minder dagen sprake van kwel vanuit de rivier.

4.6 Rivierbegeleidende wateren en daarmee samenhangende processen

Een van de kwaliteiten van het riviereengebied is de grote variatie aan oppervlaktewater. Naast het stromende water in het zomerbed zijn dat tal van wateren in de uiterwaarden, zowel aangetakt aan de rivier, als geïsoleerd, permanent meestromend of tijdelijk meestromend, diep, ondiep, etc. Alle hebben ze gemeen dat ze in meer of mindere mate meebewegen met de fluctuaties van de waterstanden van de rivier. Dit is medeverantwoordelijk voor het ecologisch functioneren. In figuur 4.41 zijn de verschillende rivierbegeleidende watertypen weergegeven.

Op hoofdlijnen kunnen de volgende 6 typen worden onderscheiden in de Gelderse Poort:

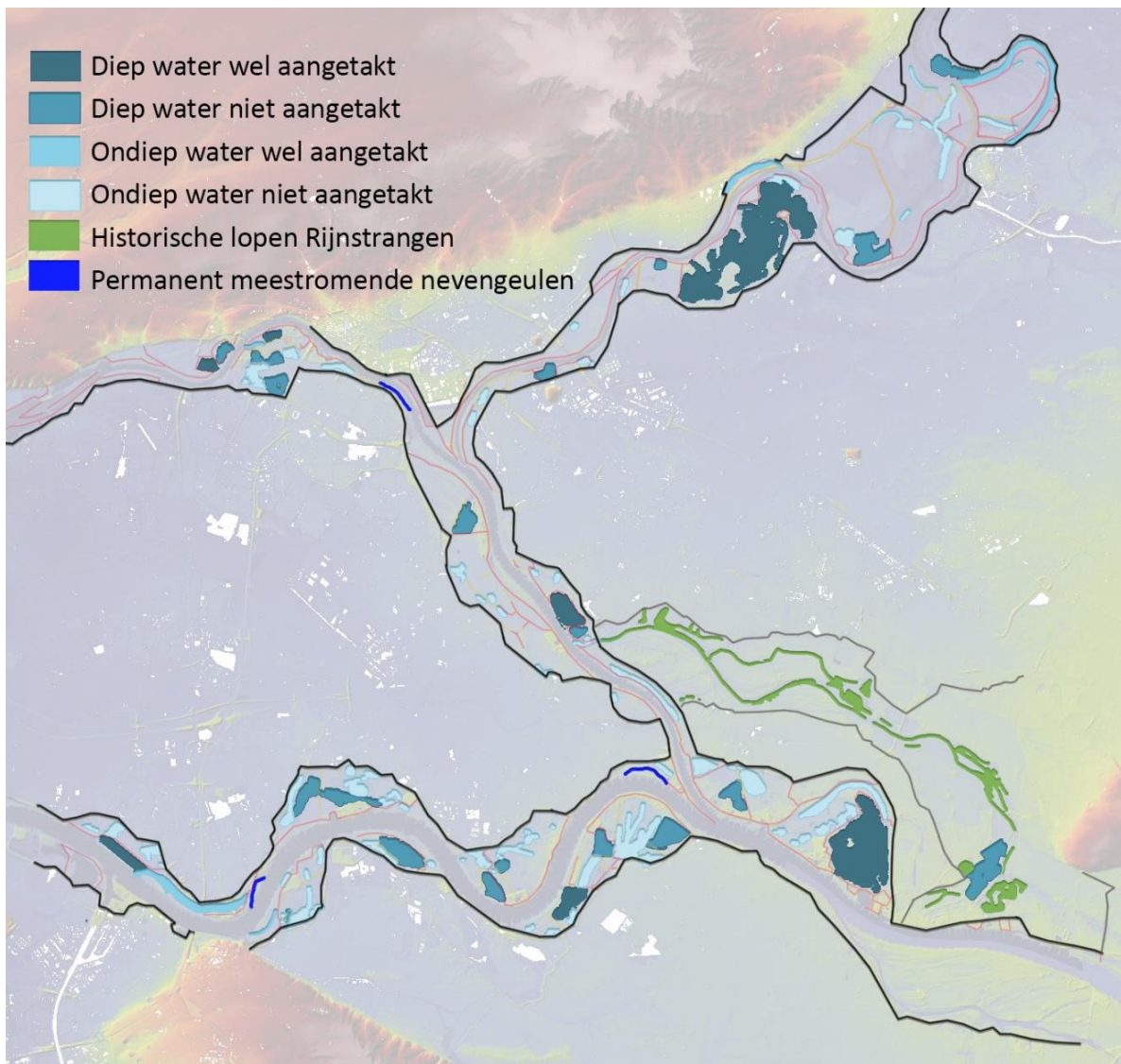
1. Permanent stromende nevengeul (tweezijdig aangetakt).

Dit type nevengeul met ondiep water ligt doorgaans in de zone direct langs de rivier en stroomt (vrijwel) alle dagen van het jaar mee. Het herbergt daarmee belangrijke kwaliteiten van het riviersysteem, zoals ondiep stromend water over zand, die van nature het zomerbed herbergde, maar daar sinds de inrichting t.b.v. de scheepvaart niet meer te vinden is. Om deze kwaliteiten zo goed mogelijk tot hun recht te laten komen horen nevengeulen in de Waal breed en ondiep te zijn (Schoor et al., 2011)²² (Smart Rivers, 2016)²³. In de Gelderse Poort liggen 3 stromende nevengeulen die allen niet aan deze voorwaarden voldoen. Ze zijn wel ondiep en ook breed, maar de hoeveelheid water die door de geul stroomt is veel te beperkt om in de geul voldoende stroomsnelheid te genereren. De inlaat laat vaak maar enkele m³/s door en in de brede nevengeul valt de stroomsnelheid dan al snel terug tot 0,1 à 0,2 m/s, terwijl veel

²² https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_137993_31/

²³ <http://www.smartrivers.nl/wp-content/uploads/Poster-Waal.pdf>

stroomminnende soorten minimaal 0,5 m/s nodig hebben²⁴. Vanwege het beperkte functioneren van deze nevengeulen is er in de Gelderse Poort bij lage, gemiddelde en licht verhoogde afvoeren vrijwel nergens stromend water te vinden. Vroeger kende het riviersysteem veel natuurlijke nevengeulen, waar de stroomsnelheid vergelijkbaar was met de hoofdstroom.



Figuur 4.41. Overzichtskartaal van de rivierbegeleidende wateren in de uiterwaarden van de drie riviertrajecten en in de Rijnstrangen.

2. Tijdelijk meestromende nevengeul (tweezijdig aangetakt).

Na verloop van tijd ontwikkelt zich vanuit een permanent stromende nevengeul door aanzanding van de instroomopening een tijdelijk meestromende nevengeul. Dit is een natuurlijk proces waarbij zand vanuit het zomerbed vooral in de ingang van de nevengeul neerslaat. Op die manier zijn de eenzijdig aangetakte nevengeulen die nog in de ondergrond van de Gelderse Poort (Waalbochten; figuur 2.11) zichtbaar zijn, ontstaan. Tijdelijk meestromende nevengeulen hebben een brede zandige instroomopening die een groot deel van het jaar (bv 70 tot 80%) overstroomt waardoor de geul dan gaat meestromen. Op lange termijn zanden deze nevengeulen helemaal dicht en neemt de doorstroombrequentie steeds verder af, maar dat kan vele tientallen jaren duren.

²⁴ <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/water-ruimte/ecologie/kw-leidraad/>



Figuur 4.42. Transport van slib vanuit de stromende nevengeul. Dat in geulen niet alleen sediment neerslaat, maar ook erodeert blijkt uit deze momentopname. Tijdens oplopende afvoeren en meer water dat door de geul gaat stromen kan slib dat eerder tijdens afnemende afvoeren is bezonken weer worden opgepakt.



Foto van de (tijdelijk) meestromende Nevengeul bij Lent. Via een smal inlaatwerk wordt weinig water ingelaten. De instroom van de geul is verzand en stroomt bij lage afvoeren niet meer mee.

3. *Benedenstrooms aangetakte strang (eenzijdig).*

Zeker in het Waalbochtentraject zijn nevengeulen die alleen aan de stroomafwaartse zijde verbonden zijn met de rivier kenmerkend. Aangetakte strangen hebben aan de bovenstroomse zijde een drempel en stromen alleen bij hogere rivierafvoeren volledig mee. In de Gelderse Poort zijn recent vier van dergelijke geulen aangelegd die passen bij dit type: De Millingerwaard, de Spiegelwaal, de Stadswaard en de Meinerswijk. De Millingerwaard is door een benedenstroomse drempel niet altijd aangetakt. De drempels aan de bovenstroomse zijde zijn in alle gevallen hoog en de geulen stromen daarom niet meer dan 5 tot 15 dagen per jaar mee. Vanuit ecologisch oogpunt is een drempel die veel vaker overstroomt (bv de helft van de tijd of nog vaker) gewenst. De twee afgesneden meanders in de Boven-IJssel (Fraterwaard en nabij Rheden) hebben ook kenmerken van een aangetakte strang.

4. *Geïsoleerde uiterwaardwateren (ondiepe strangen en plassen).*

Dit type ligt op enige afstand van de rivier en is daarvan afgeschermd door een hogere zone (bv zomerkade of oeverwal). De overstromingsfrequentie is laag, wel staan deze plassen via rivierkwel en wegzijging in contact met de peilfluctuaties in het zomerbed. Figuur 4.42 laat zien dat geïsoleerde uiterwaardwateren vooral veel voorkomen langs de Boven-Rijn en Waal. Het zijn de restanten van oude meanders, maar er zijn ook veel kleiputten die na de winning als laag gebied achterbleven. Langs de Neder-Rijn komen ondiepe geïsoleerde wateren weinig voor, m.u.v. de Meinerswijk, en langs de Boven-IJssel zijn deze wateren ook aanwezig in de vorm van oude meanders (Beimerwaard) en enkele kleiputten.



Foto van ondiepe geïsoleerd water in de Gendtse Waard. Door wegzijging a.g.v. de lage rivierwaterstand zijn de oevers drooggevallen.

5. *Diepe wateren, zowel aangetakt als niet aangetakt.*

Sinds het midden van de 20^e eeuw heeft zandwinning langs alle riviertrajecten diepe wateren achtergelaten. Deels gaat het om kleine plassen waar zand t.b.v. herinrichting na kleiwinning uit is onttrokken, maar de meeste zijn veel groter en beslaan soms de helft of meer van een uiterwaard. Langs de Waal is in vrijwel iedere uiterwaard een diepe plas aanwezig, langs de

Neder-Rijn en IJssel zijn het er minder, maar daar ligt wel het Rhederlaag, de grootste zandwinplas van het rijnstroomgebied. De meeste zandwinplassen liggen geïsoleerd van het zomerbed, op enkele (recreatie)plassen na. Diep water maakt geen onderdeel uit van het natuurlijk riviersysteem en voor het ecologisch functioneren van de kenmerkende ecotopen van de Gelderse Poort spelen ze ook geen rol.

6. Historische lopen in de Rijnstrangen.

De wateren in de Rijnstrangen en enkele oude meanders in de Ooijpolder vormen een aparte categorie omdat ze wel binnendijks liggen, maar nog veel kenmerken hebben van buitendijkse wateren. Sinds het gedeeltelijk afsluiten van het Rijnstrangengebied in de loop van de 19^e eeuw is de actieve ontwikkeling van de beddingen in dit gebied tot stilstand gekomen. In dit min of meer gefossiliseerde Rijnstroomgebied ontwikkelen deze beddingen zich nu op vergelijkbare wijze als afgesneden meanderbochten in een natuurlijk riviersysteem, met veel open water met waterplanten, moerasvorming en (zachthout)ooibosontwikkeling. Naast de beddingen liggen er in het gebied ook voormalige kleiwinningen waar deze zelfde ecotopen zich in ontwikkelen. De enige component die ontbreekt in het gebied om het nog meer een natuurlijk systeem van afgesneden meanders te laten zijn, zijn inundaties tijdens hoogwater. Daarmee wordt namelijk overtollig strooisel afgevoerd, kleilig sediment aangevoerd en het zorgt voor aanvulling van het grondwatersysteem.



Foto Rijnstrangen met op de voorgrond waterplanten-ontwikkeling in de strang en moerasontwikkeling op de oever.

5. Landgebruik en ecologie van de Gelderse Poort

5.1 Natuurareaal

Sinds het verschijnen van Plan Ooievaar is het areaal natuurgebied in het rivierengebied sterk toegenomen: van ca 5.000 ha naar ruim 20.000 ha op een totaal van ca 55.000 ha (WNF 2020). De Gelderse Poort is binnen het rivierengebied een van de gebieden met de grootste toename en dan met name in het traject van de Boven-Rijn en de Waal (zie tabel 5.1). In dit gebied was in 2022 ruim 75% van het ca. 3200 ha grote areaal in beheer als natuurgebied. Voor de Neder-Rijn bedraagt het huidige en geplande areaal ca. 50% en voor de Boven-IJssel is het met ca. 20% relatief klein. De Boven-IJssel is daarmee samen met de Terrassenmaas een van de riviertrajecten met het kleinste areaal natuurgebied in Nederland. In de binnendijkse gebieden zijn de verschillen tussen de deelgebieden ook groot. In de Ooijpolder bedraagt het areaal ca. 15%, in Lingezege ca. 12%, maar in de aan de IJssel grenzende Liemers gaat het om slechts enkele procenten. De Rijnstrangen heeft weer een relatief groot natuurareaal van ca. 40%.

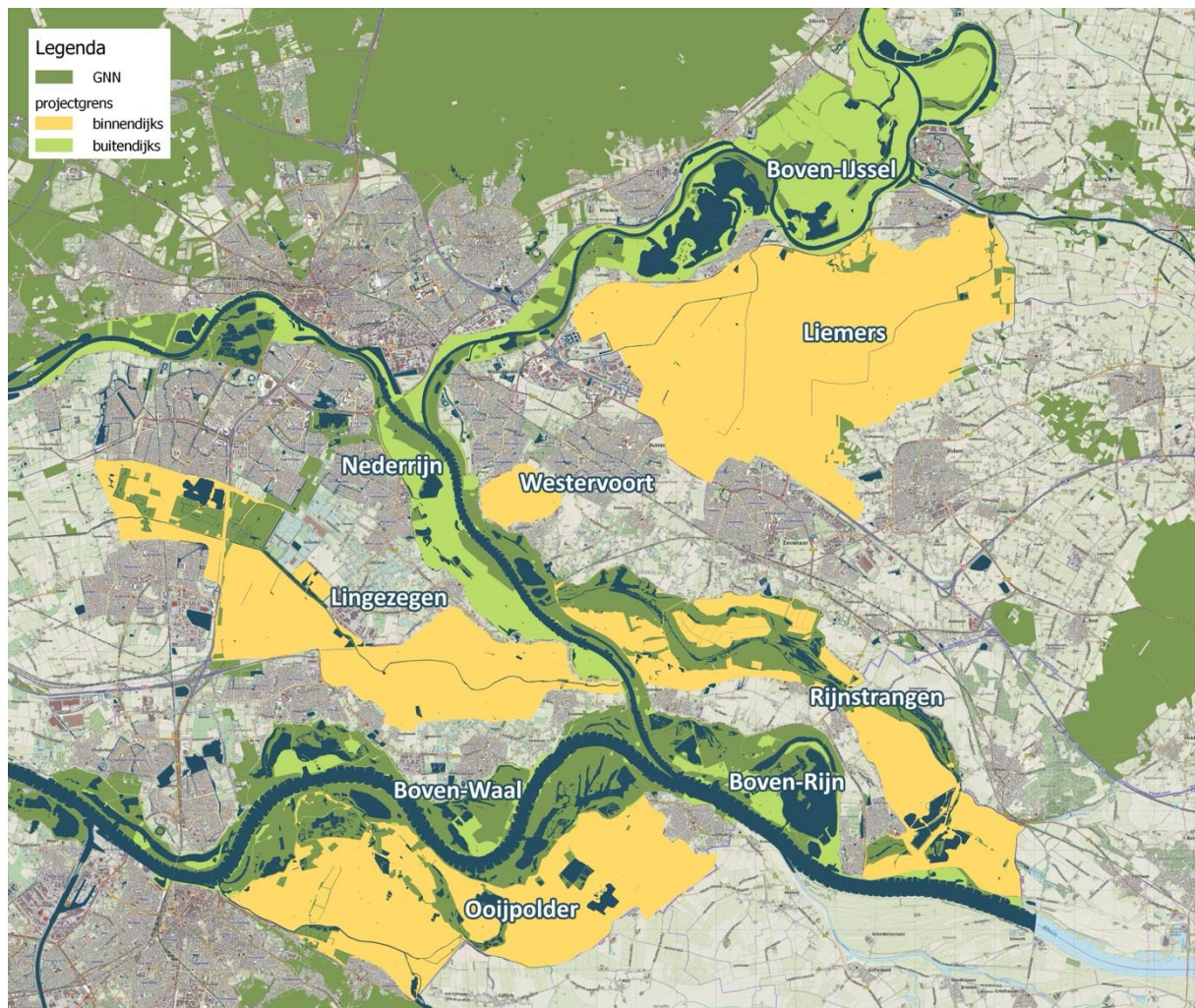
Tabel 5.1. Areaal natuurgebied in de Gelderse Poort, huidig gepland en recent geschrapt.

	Areaal totaal	NNN huidig	NNN gepland	Vervallen EHS ²⁵
Boven-Rijn-Waal	3.224	2.482	56	570
Neder-Rijn	1.966	943	18	848
Boven-IJssel	3.207	576	21	2.265
Rijnstrangen	2.612	986	60	1.486
Ooijpolder	3.082	467	23	324
Lingezege	2.647	324	0	1.359
Liemers	4.718	96	0	504
Totaal	21.456	5.874	178	7.355

In figuur 5.1 is het areaal van het natuurnetwerk weergegeven op de kaart van het projectgebied. Ook hier valt het veel grotere gebied op langs de Waal, dan langs de Neder-Rijn en vooral langs de IJssel. Het grote areaal in de Gelderse Poort is over ruim 30 jaar tot stand gekomen via verwerving vanuit de Ecologische Hoofdstructuur, de gecombineerde aanpak met bv hoogwaterbescherming (Ruimte voor de Rivier) en delfstofwinning en via natuurherstelprogramma's zoals NURG en KRW.

Voor herstel van riviergebonden ecotopen is het belangrijk dat de abiotische omstandigheden in een gebied voldoen aan de eisen die flora en fauna van deze ecotopen stellen. Op dit moment is er in het kader van de realisatie van het NatuurNetwerk Nederland (en Gelders NatuurNetwerk GNN) nog maar weinig nieuw areaal natuurgebied gepland; een uitbreiding van slechts 3% bovenop de bestaande 5.874 ha.

²⁵ Na herijking EHS vaak deels aangewezen als Groene Ontwikkelzone.

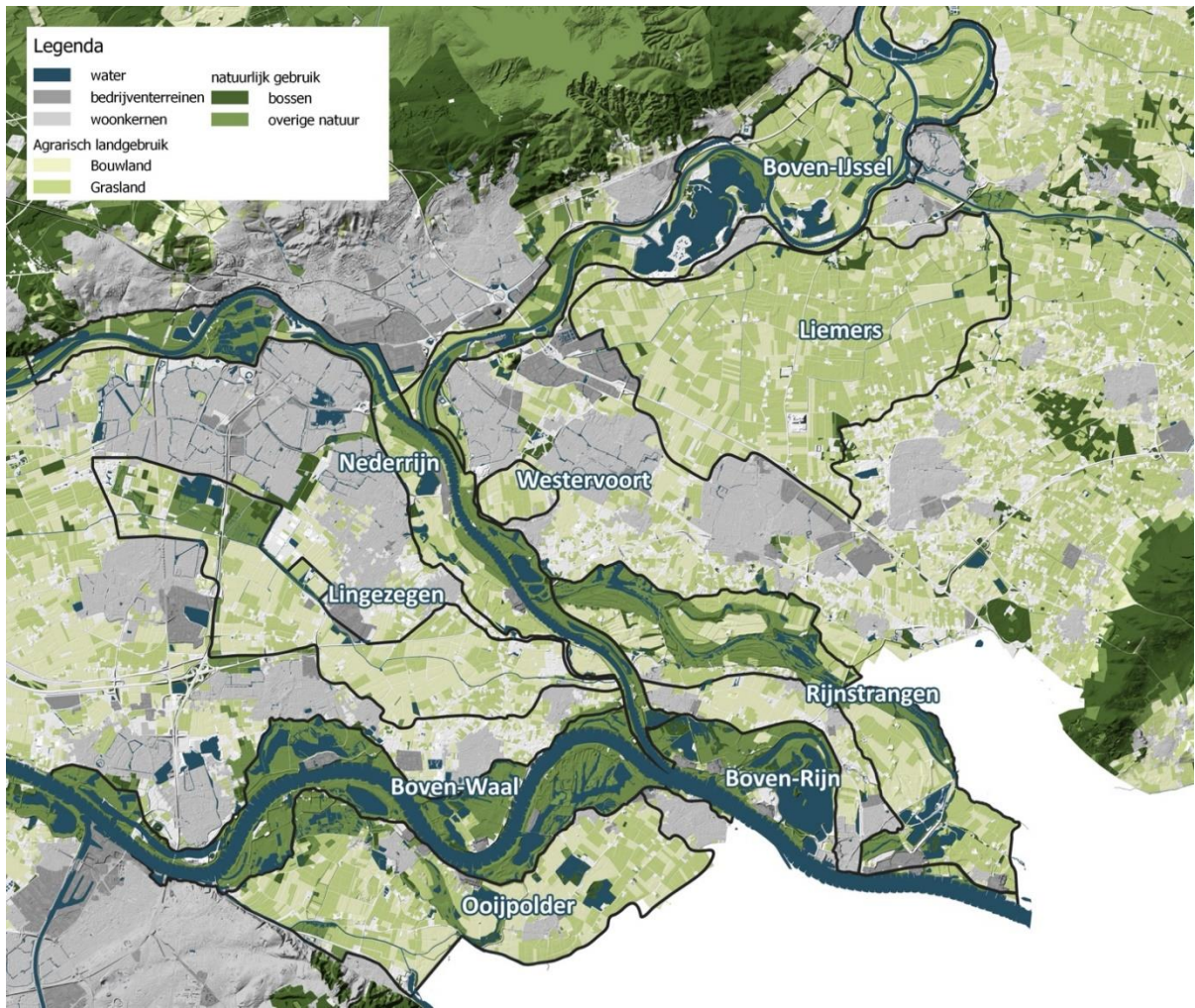


Figuur 5.1. Ligging van het natuurnetwerk in donkergroen (huidig en gepland) binnen de Gelderse Poort. Als ondergrond zijn de deelgebieden van deze studie weergegeven met in lichtgroen de buitendijkse gebieden en in geel de binnendijkse.

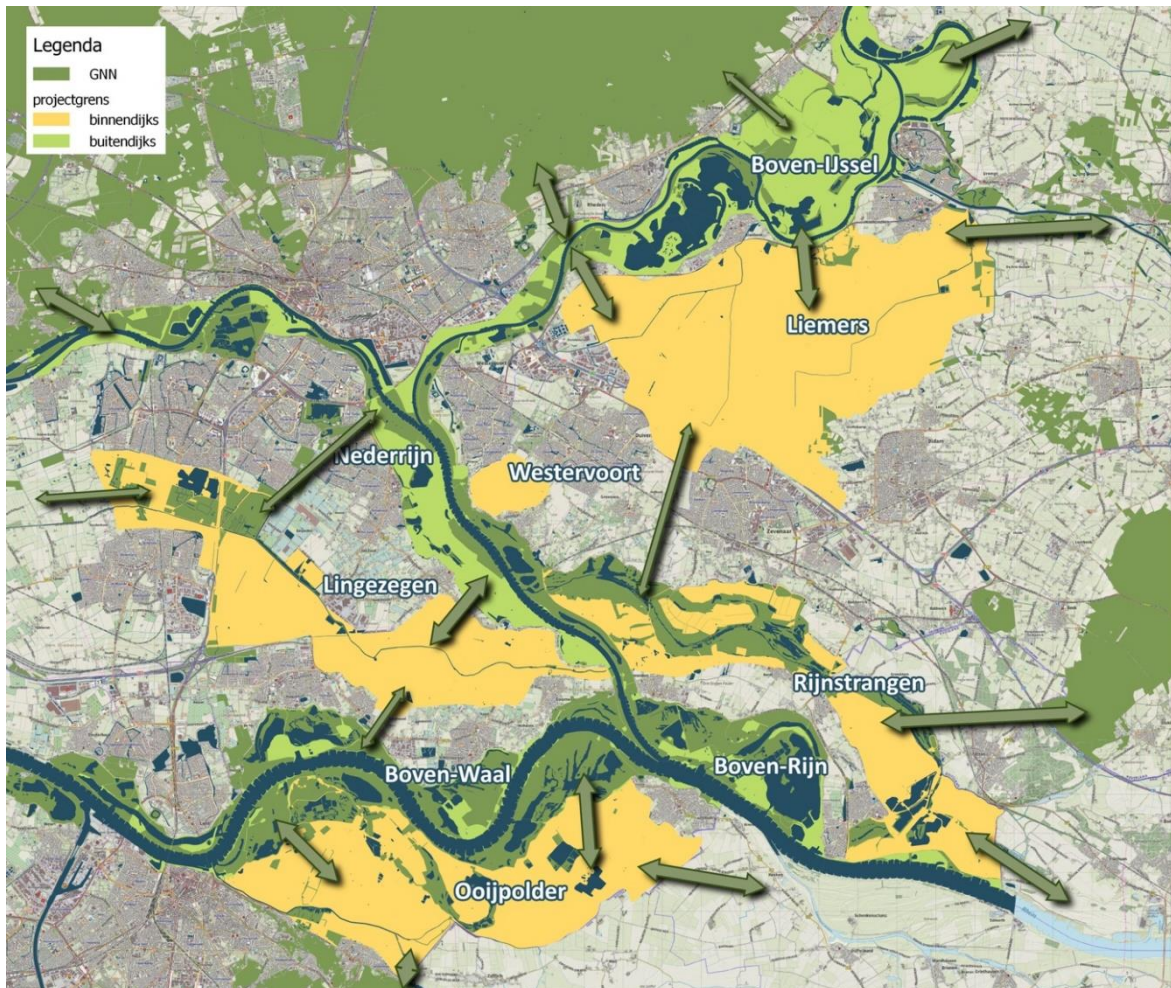
5.2 Huidig landgebruik buiten natuurgebieden

In figuur 5.2. is naast het natuurareaal het overig huidige landgebruik weergegeven. Het overig landgebruik bestaat in hoofdzaak uit grasland, bouwland en stedelijk gebied. In de uiterwaarden is buiten de natuurgebieden merendeels grasland aanwezig (ca. 70 tot 75% van het areaal). In de binnendijkse deelgebieden beslaat het grasland ook in de Liemers een vergelijkbaar percentage van het areaal, in de Ooijpolder gaat het om ongeveer de helft van het areaal en in Lingezegen is akkerland dominant met ca 80% van het areaal.

Verder valt in de Gelderse Poort het relatief grote areaal stedelijk gebied op, dat vaak direct grenst aan het winterbed. Verder van de stedelijke agglomeraties af worden de raakvlakken tussen landelijk open gebied en buitendijks gebied veel groter zoals tussen de uiterwaarden van de zuidelijke Waalbochten en de Ooijpolder en tussen de rechteroever van de Boven-IJssel en de Liemers. Hier liggen kansen voor meer robuuste ecologische verbindingen. Bijzonder in de Gelderse Poort zijn de mogelijkheden om de voedselrijke, vochtige uiterwaardgebieden te verbinden met de veel drogere en zandige stuwwallandschappen. De mogelijkheden voor verbindingen zijn echter schaars. Vanwege de sterke verstedelijking aan de voet van de stuwwallen zijn er slechts smalle groene zones waarlangs dit kan verlopen. Zie figuur 5.3 voor de plaatsen waar ruimte is voor groen/blauwe verbindingen.



Figuur 5.2. Landgebruik in de Gelderse Poort.



Figuur 5.3. Ligging van niet verstedelijkte verbindingsmogelijkheden tussen enerzijds de binnen- en buitendijkse deelgebieden en anderzijds naar gebieden buiten de Gelderse Poort

5.3 Gradiënt van ecotopen in de Gelderse Poort

De abiotische ondergrond, zoals beschreven in hoofdstuk 3 en 4, staat aan de basis van de natuur die in de uiterwaarden voor kan komen. Hydrologische en morfologische processen zorgen voor variatie in plaats en tijd en de soorten in het rivierengebied hebben zich hieraan aangepast. De actuele rivier en uiterwaardsystemen heeft op enkele fronten echter ook fundamentele veranderingen ondergaan (H4). Dit maakt dat de huidige situatie een eigen, kenmerkende omgeving is geworden, waarbij processen nog wel aanwezig zijn, maar binnen de beperkingen van onder meer het actuele rivierbeheer. Daarbij zijn sommige systeemkenmerken ook permanent gewijzigd. Om dit te illustreren wordt hierna een beeld geschetst van de gradiënt van onze uiterwaarden in de Gelderse Poort zoals die in de huidige situatie veel voorkomen.

De plaats van ecotopen in de actuele situatie

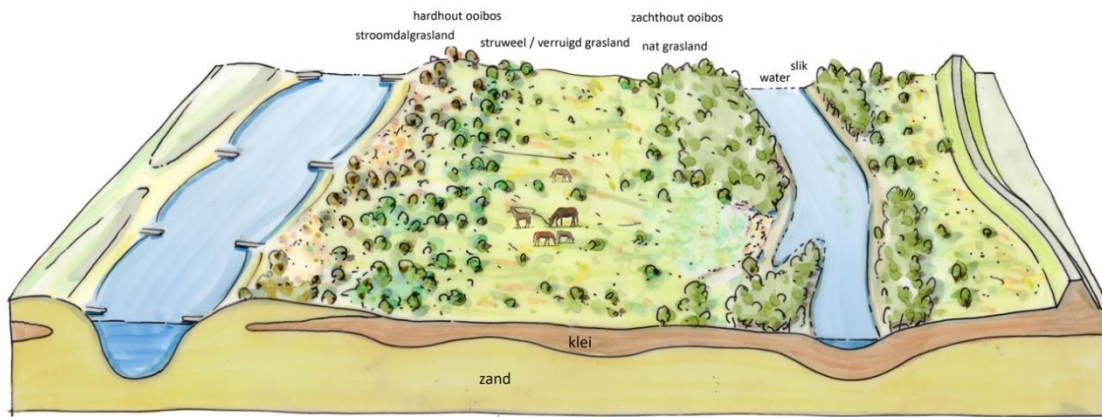
In grote lijnen bestaan de actuele uiterwaarden uit een zandige, relatief hoge oeverzone die weinig overstroomt (de oeverwal) en een kleilig, laaggelegen gebied verder van de rivier af, wat vaker overstroomt en waar water soms lang blijft staan (de uiterwaardvlakte). In figuur 5.4 is dit voor een willekeurig uiterwaardlandschap schematisch weergegeven. Aanvullend hierop is in figuur 5.6 de opeenvolging van bostypen weergegeven zoals die langs de Waal voor komt.

1. De rivier: De hoofdloop van de huidige rivier is vaak nog de enige plek met stromend water. Trekvisen, maar ook alle andere soorten, gebruiken de rivier om te migreren. Door

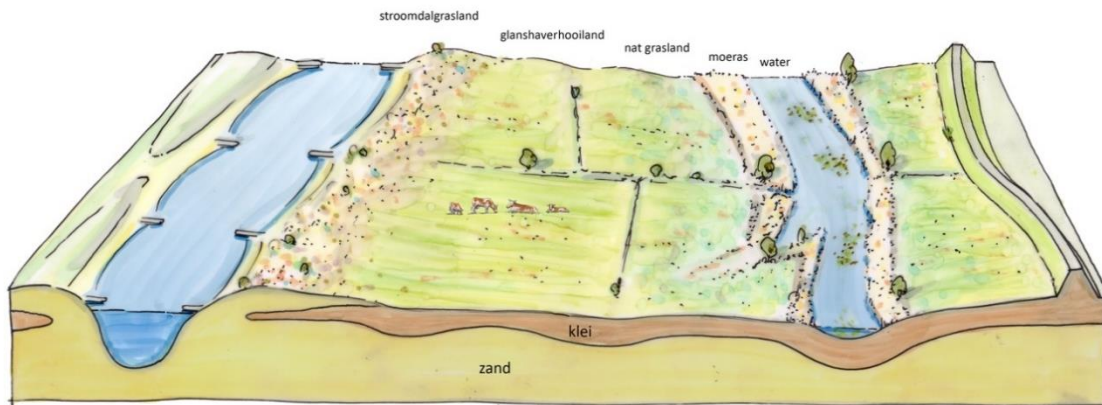
normalisatie en effecten van scheepvaart is de huidige rivierloop echter niet meer geschikt als voortplantingswater voor rheofiele soorten. Tevens is de rivier een bron van zand voor oeverhabitats en oeverwallen en daarmee indirect ook verbonden met de ecologie van kenmerkende pioniersituaties (rivierrombout), stroomdalfloravegetaties en zelfs oobos.

2. De hoge oeverwalzone is begroeid met:
 - a. hardhoutoibossen, een droog type met veel Zomereik (Abelen-lepenbos) en wat lager in de gradiënt een hardhoutoibosvariant met relatief veel Gewone Es en Zomereik, of;
 - b. Stroomdalfloravegetaties, met veel bijzondere zandpioniers, graslandsoorten en zoomplanten.
3. Daarna volgt een zone waar, afhankelijk van beheer, verschillende landschapstypen mogelijk zijn
 - a. In extensief begraasde situaties een mozaïeklandschap ontwikkelt, met grasland, ruigtes, zomen, struweel en op termijn oobos;
 - b. Onder maaibeheer of intensief agrarisch beheer bestaat deze zone vaak uit graslanden/hooilanden, eventueel met hagen en bosschages.
4. Nog verder van de rivier af liggen vaak lagere overgangen naar oude geulen en laagtes. Afhankelijk van het beheer kunnen hier verschillende ecotopen voorkomen:
 - Zachthoutoibos, in zones waar weinig beheer of (zeer) extensieve begrazing plaatsvindt.
 - Nat grasland, vaak kort gegraasd met soorten als Rode ogentroost, Polei, Akkerkers en Fraai duizendguldenkruid.
 - Slikkige oevers, wat lager is in de zone, waar tal van pioniers kiemen (o.a. Slijkgroen, Bruincypergras).
- Tegen de flanken van het winterbed liggen vaak ook historische geulen die permanent water bevatten. In situaties dat deze geulen met de rivier zijn verbonden zakken ze in het groeiseizoen ver uit en zijn de kansen voor een rijke waterplanten- en moerasbegroeiing minder groot. Hier is wel sprake van ondiep water dat interessant is voor reigerachtigen, Lepelaar en steltlopers. In van de rivier afgesneden wateren (zoals in de Rijnstrangen en Ooijse Graaf), die een minder sterke peildynamiek en een extensief beheer kennen, kunnen in en langs deze wateren veel waterplanten voorkomen en een rijke moeraszone met helofyten als Riet, Lisdodde en Grote egelskop.
- Binnendijs liggen soms ook specifieke ecotopen waarin het grondwater via de ondergrond in contact staat met de rivier. Hierbij kan gedacht worden aan zachthoutoibos, rietland en graslanden die onder invloed van rivierkwel staan (situatie Groenlanden). Nog verder van de winterdijk kunnen nog steeds oude strangen en meandergeulen liggen die laagdynamisch moeras en water herbergen (Rijnstrangen, Ooijse Graaf).
- De natuurlijke vegetatiezonering kan door intensiever beheer (maaibeheer en peilbeheer) veranderen (zie figuur 5.5). De boscomponent verdwijnt dan grotendeels en daarvoor in de plaats blijven alleen de grazige vegetaties over. Ook nu is er een zonering die samenhangt met de eigenschappen van de ondergrond, waarin de grazige eenheden voorkomen uit het bgrasde systeem. Daarnaast zijn er nu ook typen die alleen voorkomen in het gemaaide landschap zoals de glanshavergraslanden in gebieden met een meer zavelige tot kleiige bodem die regelmatig overstroomt, maar bij aanvang van het groeiseizoen weer droog is en verder van de rivier af, de natte graslanden, waaronder de Vossenstaartgraslanden. Rondom oude geulen die niet met de rivier verbonden zijn, is er een trage peildynamiek en gaan de natte graslanden over in moerasvegetaties.

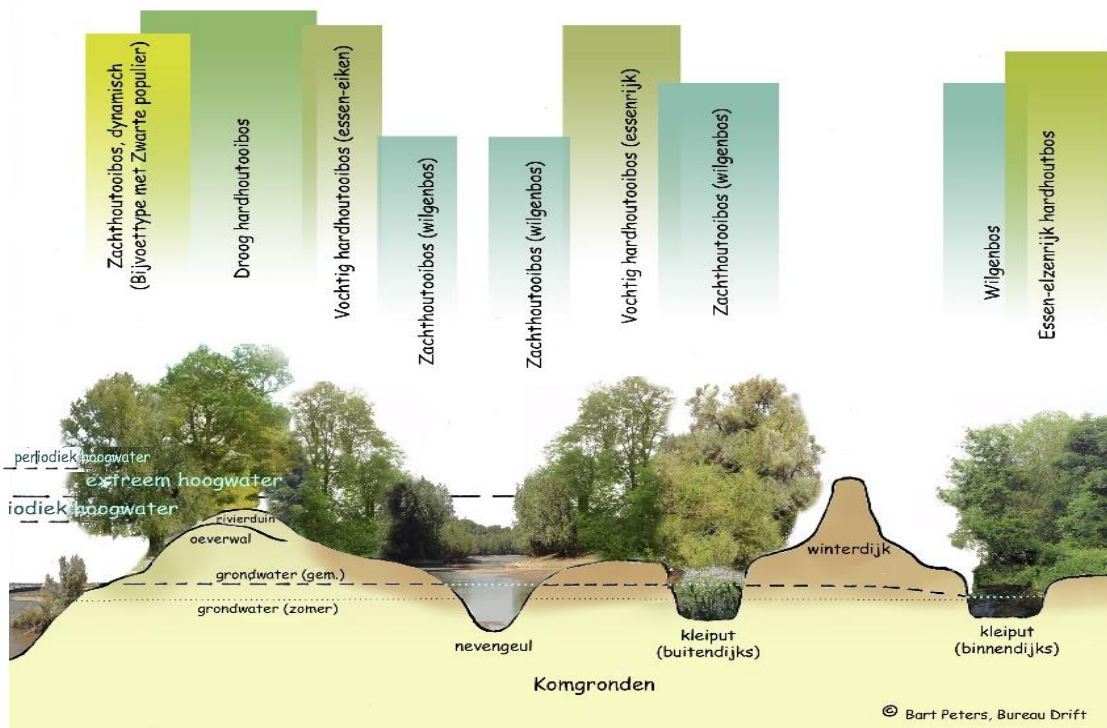
In de paragraaf hierna gaan we dieper in op de kenmerken en de levensgemeenschappen van deze ecotopen.



Figuur 5.4. Een schematisch beeld van vegetaties in een extensief (jaarrond) begraasd uiterwaardlandschap (type Millingerwaard) waarvan we er veel in de Gelderse Poort aantreffen. Veel vegetaties komen in mozaïek voor en er is ruimte voor bosontwikkeling.



Figuur 5.5. Een schematisch beeld van vegetaties in intensiever beheerde uiterwaardlandschappen en/of maai-beheer. In dit geval overheersen de grazige vegetatietypen.



Figuur 5.6. Typen oobos zoals deze langs de Waal voorkomen (Peters, 2021)

5.4 Kenmerkende ecotopen in de Gelderse Poort

In paragraaf 5.3 zijn de ecotopen geïntroduceerd die samenhangen met het rivierengebied. Het gaat om ecotopen die gebonden zijn aan het dynamische karakter van het gebied. In tabel 5.2 zijn de met het rivierengebied verbonden ecotopen beschreven, met daarbij enkele kenmerkende soorten die er thuishoren. Onder de tabel worden deze ecotopen kort beschreven en wordt ingegaan op hun verspreiding en de abiotische omstandigheden van deze locaties.

Tabel 5.2. Ecotopen en kenmerkende soorten.

Ecotoop	Habitatype (N2000)	Kenmerkende soorten (o.a.)
Zachthoutoibossen	Zachthoutoibos H91E0_A	Smalbladige wilgen (schietwilg, katwilg, amandelwilg), zwarte populier, bever, Buidelmees, Kwak, Bosmuur, Populierenpijlstaart
Vochtig tot matig droog hardhoutoibos	Essen-iepenbos H91E0_B	Gewone es, gladde iep, zomereik, Hop (plant), Wielewaal
Droog hardhoutoibos	Droge hardhoutoibossen H91F0	Zomereik, Zomerlinde, iep, es, meidoorn, muskuskruid, Besanjelier, Bonte vliegenvanger, Kleine bonte specht
Struweelgraslanden	Mozaïek van H6510, H120, H91E0B, H6120	Nachtegaal, Meidoorn, Gewone agrimonie, Grasmus, Braamsluiper, Sikkelsprinkhaan, Sleedoornpage, Grauwe klauwier
Ruigten en zomen	Ruigten en zomen H6430	Akkerdistel, Gewone agrimonie, Wilde marjolein, Knolribzaad, Peperkers, Late guldenroede, Sprinkhaanzanger, Kwartelkoning, Kneu, Roodborsttapuit
Vochtige pioniermilieus	Deels: slikkige rivieroever H3270 Deels: Stroomdalgrasland (pioniersituaties daarin) H6120	Slijkgroen, Bruin cypergras, Fraai duizendguldenkruid, Kluut, Kleine plevier, Bergeend en Visdief
Droge, zandige pioniermilieus	Deels: Stroomdalgrasland (pioniersituaties daarin) H6120	Zandweegbree, Zandwolfsmelk, Cipreswolfsmelk, Slanke mantelanjer, Riempjes, Veldhondstong, Blauwvleugelsprinkhaan, Duinsabelsprinkhaan, Rugstreepad (winter)
Stroomdalfloravegetaties/stroomdalgrasland	Stroomdalgraslanden H6120	Brede ereprijs, Veldsalie, Sikkelklaver, Kattendoorn, Kleine ruit, Weidesprinkhaan, Greppelsprinkhaan, Bruin blauwtje, Graspieper, Veldleeuwerik
Overstromingsgraslanden	Deels: glanshaver- en vossenstaartgraslanden H6510	Groot streepzaad, Margriet, Pastinaak, Wilde peen, Gele en Oosterse morgenster, Glad walstro
Open water, geulen en strangen	Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden H3150	Groot blaasjeskruid, Watergentiaan, Fonteinkruiden, Boomkikker, Kamsalamander, Vroege glazenmaker
Rivier en stromend water	-	Barbeel, Serpeling, Rivierrombout, Schoraas, Bataafse stroommossel, Rivierfonteinkruid

Riet-/riviermoeras	-	Bruine kiekendief, Grote karekiet, Rietzanger, Roerdomp en Snor; Bruine winterjuffer, Pijlkruid, Lidsteng, Grote egelskop, Riet
--------------------	---	---

Ecotopen en levensgemeenschappen in de Gelderse Poort

Van de karakteristieke ecotopen is hieronder beschreven wat hun relatie is met de abiotische omstandigheden, een beeld van de bijbehorende levensgemeenschappen en waar ze nu (nog) voorkomen in de Gelderse Poort.

Zachthoutooibossen

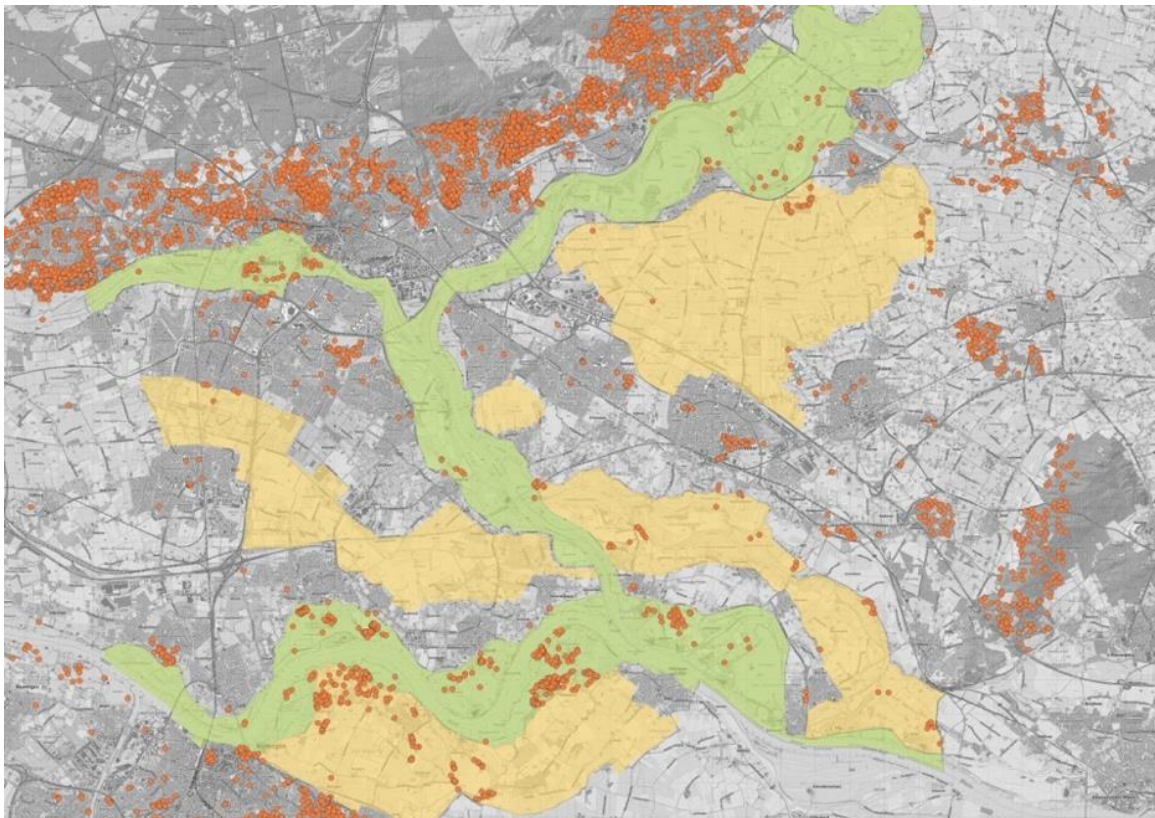
Zachthoutooibossen liggen op laaggelegen plekken langs de rivieren, zowel buitendijks als binnendijks die onder invloed staan van seizoenale overstromingen. De bossen worden gedomineerd door smalbladige wilgen en hebben een ondergroei die merendeels bestaat uit algemene moeras- en ruigteplanten, als Grote brandnetel, Dauwbraam, Smeewortel en Kleefkruid (ooibos van het 'brandneteltype'). In meer natte omstandigheden treden soorten als Gele lis, Gele waterkers, Watermunt en in kwelrijke situaties zelfs Waterviolier op de voorgrond ('Lissenooibos'). Daar tussendoor staan soms ook enkele minder algemene soorten als Bosmuur, Springzaadveldkers, Oranje springzaad en Groot glaskruid (Wolf et al., 2001; Peters, 2021). De natte variant van het zachthoutooibos heeft het in de Gelderse Poort echter erg moeilijk door de beddingerosie en dalende grondwaterstanden. Vooral op plekken met ook lange kwel, zoals in de Steenwaard (Rijnstrangen) zien we nog goed ontwikkeld nat ooibos. Naarmate de ooibossen opslibben en hoger komen te liggen kunnen steeds meer soorten van het hardhoutooibos zich vermengen met de wilgen, eerst vooral Eenstijlige meidoorn, maar later ook bijv. essen, eiken en Kardinaalsmuts.

Het zachthoutooibos op zandige rivierstranden, lage oeverwallen en op zandige/fijngrindige pionierssituaties langs zandplassen en tichelgaten heeft een fundamenteel ander karakter. Dit type is bekend als zogenaamde bijvoetooibossen en bestaat vooral uit wilgen en Zwarte populier, recent ook vermengd met Vederesdoorn. Dit type kan relatief hoog in de gradiënt voorkomen doordat de standplekken op oevers en oeverwallen ophogen met hoogwaterzand. Daardoor heeft dit bos type vaak een open en gefragmenteerd karakter en is het vermengd met droge zandafzettingen en soms stroomdalfloravegetaties. Voorbeelden vinden we op de oeverwalen van de Erlecomse Waard en Millingerwaard. Het wellicht mooiste voorbeeld ligt op een oeverwal in de Gendtse Waard (voormalige zandplaat van het Vossegat), waar het ooibos inmiddels overgaat in een droog hardhoutooibos met soorten als zomerlinde en Zomereik (Van Beers, 2017; Peters, 2021). Sommige aangeplante bosjes (o.a. populierenbosjes, zowel binnen- als buitendijks) kunnen het karakter van zowel een zachthoutooibos als hardhoutooibos (Colenbranderbos bv) krijgen.

Zachthoutbos ontstaat vaak als pionier op verse, minerale bodem, bijvoorbeeld op plaatsen waar erosie of sedimentatie heeft plaatsgevonden. De meeste kans op kieming doet zich voor op plaatsen waar in het late voorjaar sprake is van een langzaam terugschrijdende waterstand. Er is daarom onderscheid in goede en minder goede 'wilgenkiemingsjaren'. (Van Splunder, 1997; Peters, 2020). In droge jaren kan het dan gebeuren dat wilgen ook in laaggelegen gebieden kiemen, maar als de waterstand in de jaren daarna weer hoger is, verdwijnen ze dan ook weer. Uiteindelijk is de favoriete groeiplaats van wilgen rond ca. 0,5 m boven de mediane rivierwaterstand. Zodra zich in een gebied een vegetatie/grasmat heeft ontwikkeld, kiemen wilgen daar nog maar zelden. Als gevolg van de bodemdaling van de rivier is dit niveau in de Gelderse poort steeds verder omlaaggegaan waardoor wilgen inmiddels ook op steeds lagere plekken kunnen kiemen.

De kwaliteit van zachthoutooibos is goed vast te stellen aan de hand van de ondergroei, maar ook de soortensamenstelling en dichtheid van broedvogels waaronder diverse soorten roofvogels en uilen (o.a. Buizerd, Havik, Sperwer, Ransuil). Het voorkomen van Appelvink, Boomklever, Glanskop,

Grauwe vliegenvanger en Kleine bonte specht wijst op een ontwikkeling richting oud zachthoutoobos (> 40 jaar) en hardhoutoobos (figuur 5.7).



Figuur 5.7 Verspreidingskaart van de Boomklever in de periode 2017 t/m 2022 (bron: NDFD). Als standvogel geeft deze soort een goed beeld van de locaties waar oudere bossen aanwezig zijn. In het rivierengebied zijn er enkele clusters die duidelijk samenvallen met de oudere zachthoutbossen in o.a. de Millingerwaard, Bemmelse Waard, Lobberdensche waard en Meinerswijk. Langs de Neder-Rijn en IJssel zijn er slechts enkele waarnemingen. Binnendijs is de soort ook spaarzaam aanwezig, m.u.v. de Groenlanden en de Ooijse Graaf.

Wilgenbos dat direct grenst aan open water (langs geulen, op eilanden) is van extra ecologisch belang omdat dit vaak interessant (beschermd) broedbiotoop oplevert voor koloniebroeders als Lepelaar, Aalscholver, Kwak en Blauwe reiger, naast jachtbiotoop voor een soort als IJsvogel. Ook is dit geschikt vestigingsbiotoop voor bevers, doordat burchten met onderwateringang gemaakt kunnen worden. In de Gelderse Poort zit ook een vrij grote populatie Nachtegaal in de oobossen. Daarnaast zijn de laatste jaren broedpogingen bekend van Zwarte Wouw en regelmatige bezoeken/overzomering van Zearend en Visarend. Voor dergelijke soorten hoog in de voedselketen speelt waarschijnlijk de ligging van oobos op rustige locaties een belangrijke rol. Met het oog hierop wordt nu door Staatsbosbeheer actief gekeken waar geïsoleerde bosgebiedjes kunnen worden gerealiseerd, onder andere door de aanleg van een extra geul rond oobos in de Millingerwaard.

Hardhoutoobossen

Vochtig tot matig droog hardhoutoobos (Essen-lepenbossen)

Vochtige hardhoutoobossen groeien op wat hoger gelegen, kleiige of zavelige delen van de uiterwaard. Tot enkele decennia geleden ging het vaak om de drogere delen van de komkleigronden achter de oeverwallen, maar tegenwoordig zijn het, door beddingerosie/daling van het grondwater, vaker de lagere delen van de komgronden. Overstromingen treden hier gemiddeld tussen de 5 en 20 (max. 30) dagen per jaar op. De grondwaterstanden liggen in het voorjaar minimaal enkele

decimeters onder maaiveld. De standplaatsen zijn vochtig en hooguit zwak zuur. De voedselrijkdom is wel groot, hoewel soms wat minder dan in de regelmatig overstromde zachthoutoobossen. In dit type bos domineert de gewone es. In de Nederlandse uiterwaarden is dit bos momenteel alleen nog in gedegradeerde (populierenaanplant) of pioniersvorm aanwezig. Voor zover bekend is dit type oobos in de huidige situatie (nog) niet aanwezig in de Gelderse Poort. Wel zijn er op een paar plaatsen initiële ontwikkelingen in de richting van dit bostype, zoals de struweelvlakte ten zuiden en oosten van het Millingerduin. Daar zien we in de struweelgraslanden en ruigtes soorten als Gewone es, Zoete kers, Walnoot, Kardinaalsmuts, Zomereik, Gewone vlier en Rode Kornoelje opkomen, als voorbode van dit bostype. Lokaal kan Essenbos (eventueel als Essenhakhout) rond landgoederen voorkomen. Ook binnendijks kan dit bostype zich ontwikkelen (o.a. in de Groenlanden), maar dan alleen indirect onder invloed staan van de rivier (door stijging van grondwater tijdens rivierhoogwater). De vraag is op dit moment wel in hoeverre Gewone es in deze ontwikkeling een rol blijft spelen, vanwege de essentaksterfte die de laatste jaren door het wilde Essenbestand raast (Peters, 2021).



Vossegat in de Gendtse Waard in 2009 (foto Beeldbank RWS, Joop van Houdt).

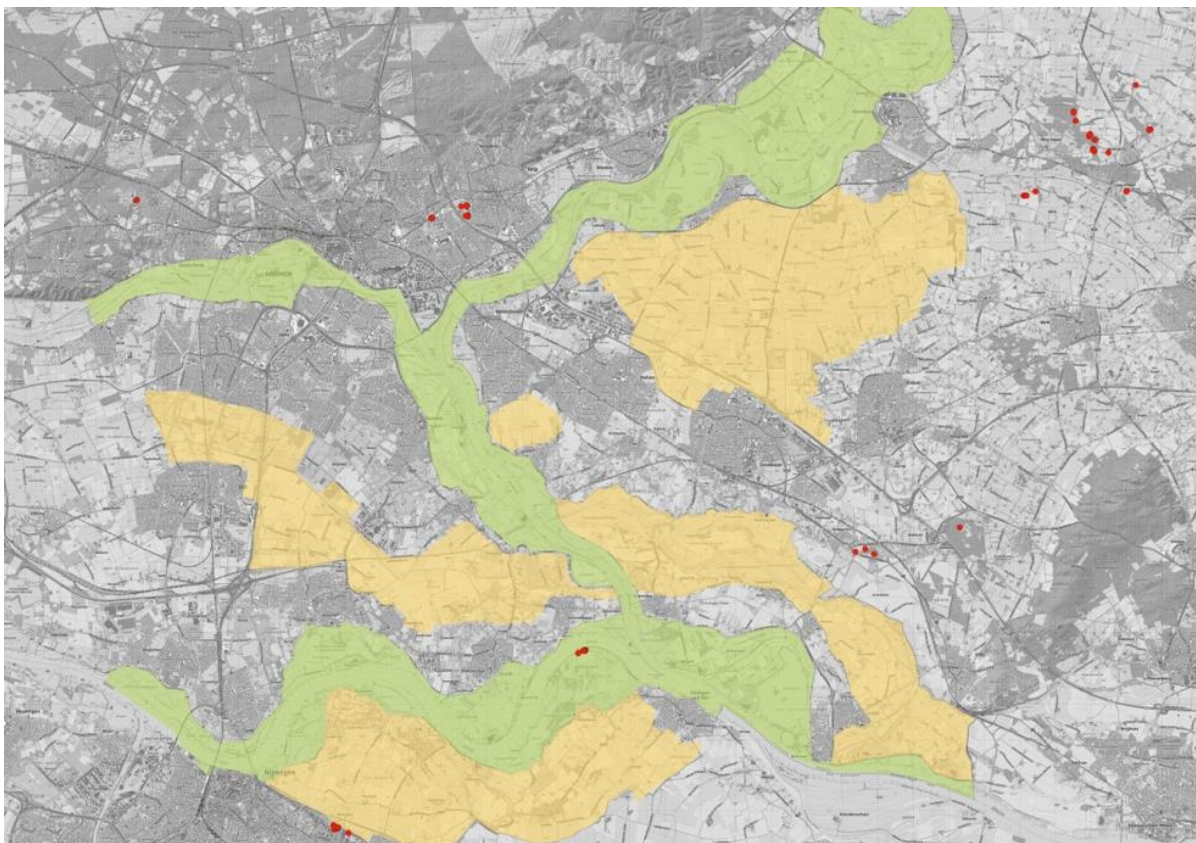
Droog hardhoutoobos (Abelen-lepenbos)

Droge hardhoutoobossen komen voor op oeverwallen en andere hoge en droge delen van het rivierengebied waar enige aanvoer van baserijk water optreedt en tot in de wortelzone doordringt. Het type is gebonden aan standplaatsen die alleen bij de hoogste waterstanden overstromen. De literatuur geeft een gemiddelde overstromingsduur van minder dan 10 dagen per jaar, in de meeste gevallen liggen de geschikte gebieden als gevolg van de bodemdaling van de rivier tegenwoordig zo hoog dat ze minder dan 1 dag per jaar overstromen. Geholpen door verdroging van het actuele uiterwaardengebied begint dit oobos zich echter ook te ontwikkelen op de zandige ondergrond van afgetichelde terreinen in de komgronden, zoals in de Millingerwaard. Het verwijderen van de voedselrijke, vaak voorheen bemeste kleilaag (en daarmee vaak een dichte grasmat of ruigte) helpt

bij een snelle vestiging van veel hardhoutsoorten. Het betreft boomsoorten als Zomereik, Veldiep, Gladde iep, Grauwe en Witte abeel, Zomerlinde en nieuwkomers als Walnoot en Witte acacia. De struiklaag en de kruidlaag van volgroeide hardhoutoibossen zijn doorgaans soortenrijk met plaatselijk veel zeldzame bolgewassen (o.a. Slangenlook, Muskuskruid, Bosgeelster, Vingerhelmbloem) en liaansoorten als Besanjelier en Bosrank. Faunistisch zijn deze bossen (maar ook de vochtigere oibossen) belangrijk voor dagvlinders als Grote weerschijnvlinder, Keizersmantel, Gewone eikenpage, Grote Vos, veel pijlstaartvlindersoorten (nachtvlinders) en tal van broedvogels waaronder Havik, Nachtegaal, Zwartkop, Kleine bonte specht, Bonte vliegenvanger en Wielewaal.

Het huidige voorkomen van droog hardhoutoibos is in de Gelderse Poort beperkt tot het Colenbrandersbos (8 ha). Ook in het Vossegat in de Gendtse Waard begint zich momenteel een fraai hardhoutoibos te ontwikkelen (Van Beers, 2017; Peters, 2021). In verschillende terreinen die al wat langere tijd begraasd natuurgebied zijn (waaronder de Millingerwaard, de Bisonbaai, Meinerswijk en in de Vaalwaard), is de laatste 10 jaar een vaak sterke ontwikkeling van struweel (o.a. meidoorn, hondсроos en sleedoorn) op gang gekomen waarin ook verschillende hardhoutboomsoorten zich gevestigd hebben, waaronder vrij veel Zomereik. Dit kan gezien worden als eerste aanzet naar nieuw hardhoutbos. In de Gelderse Poort zijn ook enkele voormalige steenfabrieksterreinen (o.a. de Vlietberg (Stadswaard) en de Beijer in de Millingerwaard) ingericht als natuurgebied met de potentie tot ontwikkeling van hardhoutbos.

Staatsbosbeheer heeft de laatste jaren in verschillende gebieden (o.a. Vlietberg, Millingerwaard, Erlecomse Waard) hardhoutsoorten (Zomerlinde, Zomereik, Veldiep) aangeplant, in de hoop dat deze als zaadbron kunnen dienen voor toekomstig hardhoutoibos.



Figuur 5.8. Muskuskruid in de periode 2017 t/m 2022 (bron: NDFF). De groeiplaats in het Colenbrandersbos is de enige tussen die op de stuwwallen van Nijmegen en Montferland. Er is sinds de uitbreiding van het natuurareaal nog geen sprake van uitbreiding van deze kenmerkende hardhoutoibossoort langs de rivier.

Struweelgraslanden

Veel gebieden in de Gelderse Poort kenmerken zich door het voorkomen van struweelgraslanden. Dit zijn grazige gebieden en ruigtes waarin kleine of grotere eenheden met struweel zijn opgekomen. Dit landschapstype ontstaat spontaan in gebieden waar (voormalige) graslanden en akkers onder een beheer van extensieve begrazing worden beheerd. Hierin vestigen zich vervolgens (stekel)struiken als Eenstijlige meidoorn, Hondсроos, Gewone vlier en Sleedoorn. Deze ontwikkeling kan gezien worden als een voorstadium van de ontwikkeling naar hardhoutoobos, maar vertegenwoordigt ook een eigen waarde.

In de graslanden en ruige zomen zijn van belang voor broedvogels als Kwartelkoning, Sprinkhaanzanger en voormalige cultuurvolgers als Patrijs en Roodborsttapuit. In de struwelen treffen we op vrij grote schaal Grasmus, Braamsluiper, Tuinfluiter en Nachtegaal aan. Als kers op de taart van deze ontwikkeling heeft zich de laatste jaren zelfs Grauwe klauwier in deze struweelgraslanden gevestigd. Belangrijk voor al deze soorten is de aanwezigheid van veel voedsel in de vorm van een rijke insectenfauna. Daarbij horen onder meer dagvlinders als Gehakelde aurelia en Sleedoornpage. Sinds 2020 is Boomkikker geherintroduceerd in de Gelderse Poort. Voor deze soort zijn struwelen/struweelranden rond (voortplantings)wateren belangrijk biotoop.



Struweelgraslanden in voormalige landbouwgronden va de Millingerwaard (foto Twan Teunissen).



Goed ontwikkelde struweelzone tegen het Colenbranderbos. Inzet: Juvenile boomkikker in mantelvegetatie met Hop en Kleefkruid (foto Bart Peters).

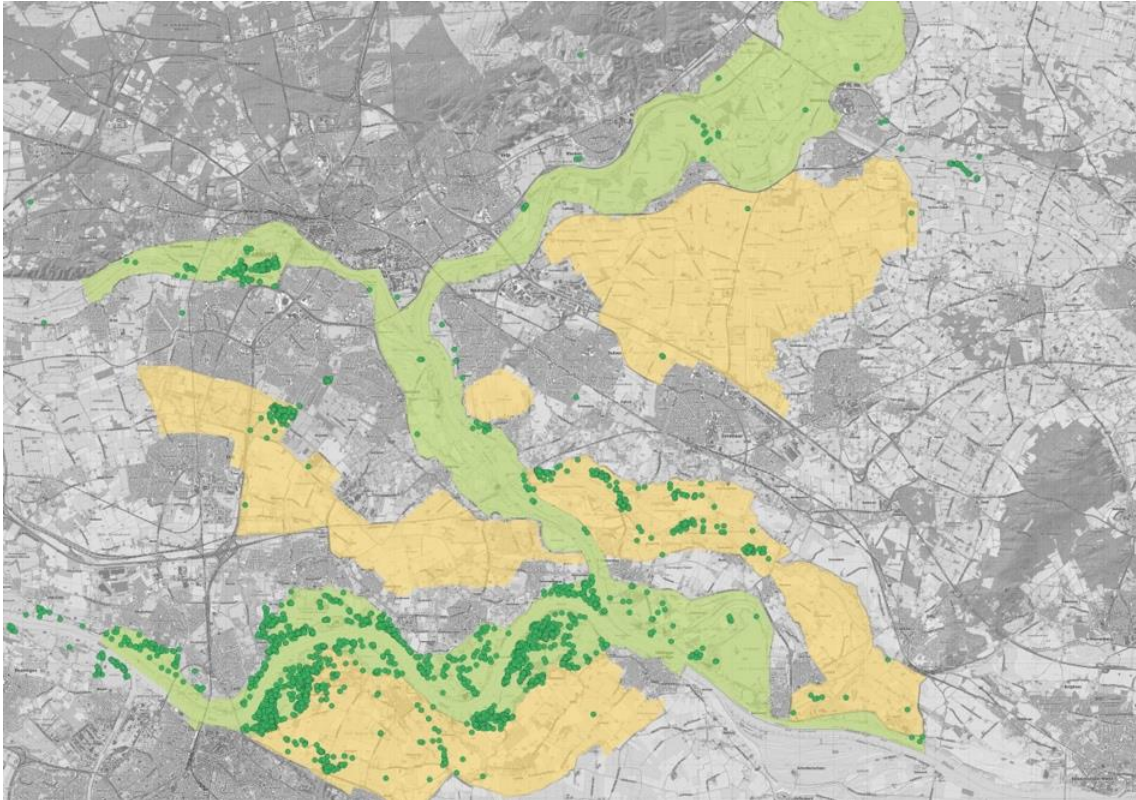
Ruigten en zomen

Het rivierengebied is bekend om zijn voedselrijke bodems, maar ook vanwege het mozaïek van opgaande en open begroeiing. Het zijn de favoriete groeiplaatsen van ruigten en zomen. Enerzijds treffen we ze aan op vochtige, veel biomassa producerende strooiselruigten op voedselrijke standplaatsen en anderzijds zomen langs vochtige tot droge bossen. Doordat veel gronden in het rivierengebied een geschiedenis hebben van bemesting (agrarisch gebruik) zijn veel van de kleiige komgronden extra gevoelig voor dichte ruigteontwikkeling.

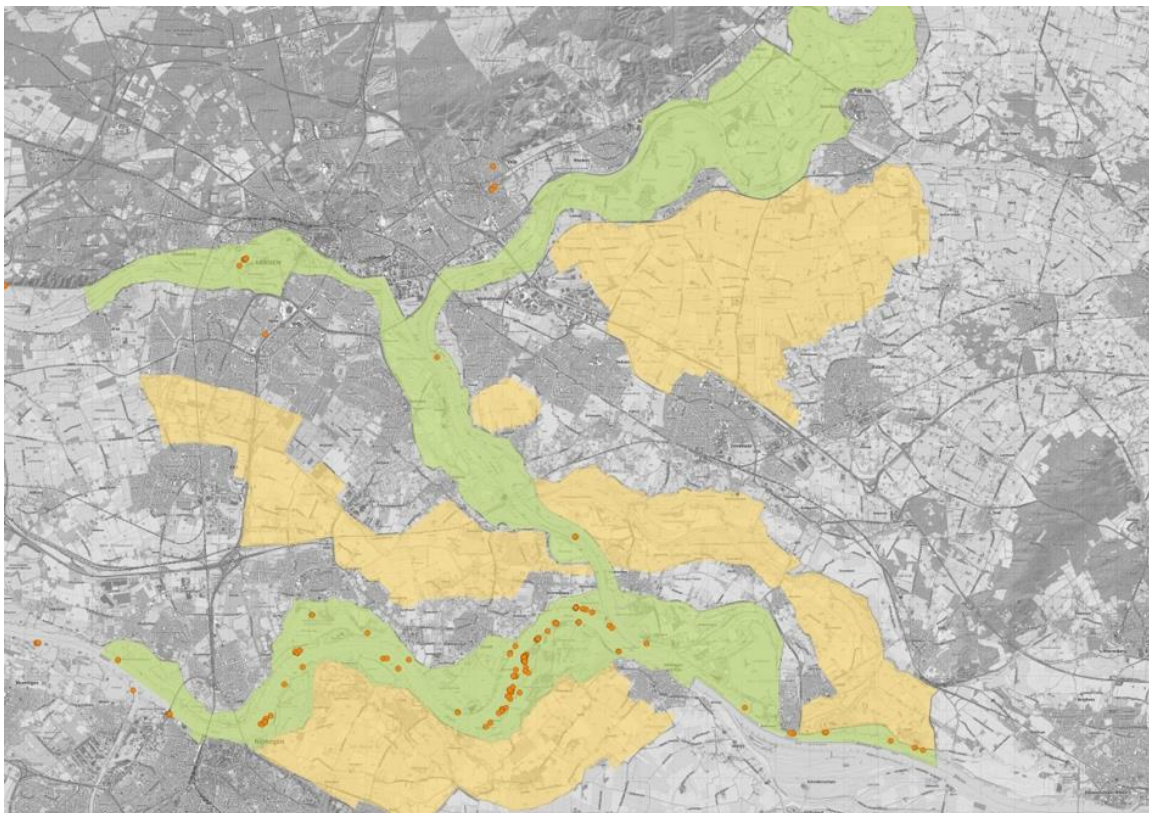
Het zwaartepunt van het voorkomen van de natte ruigten en zomen ligt in de lagere delen van de komgronden en aan de randen van plassen en moerassen (oude kleiputten, verlandende strangen, kolken). In figuur 5.9 is dit duidelijk te zien aan de hand van de verspreiding van de sprinkhaanzanger. De uiterwaarden langs de Waal springen er uit en in mindere mate de Rijnstrangen en Meinerswijk. Langs de Neder-Rijn en de Boven-IJssel zijn er slechts sporadische territoria, wat er mede op duidt dat vochtige ruigten hier schaars zijn. Dit heeft onder meer te maken met het meer agrarische beheer dat hier gevoerd wordt.

Ook droge ruigten komen voor op meer voedselrijke standplaatsen, met name langs heggen en bosranden, in verruigende graslanden, op oeverwallen en in mozaïekvegetaties met een afwisseling van grasland en struweel. Typische soorten van droge zoomvegetaties komen vooral voor op kalkrijke zandige en zavelige bodems die incidenteel worden overstroomd. Te denken valt aan plantensoorten als Kweekdravik, Gewone agrimonie en Wilde marjolein. Zie figuur 5.10 voor de verspreiding van de Pijpbloem, ook een typische vertegenwoordiger van droge ruigtes en zomen.

Soorten waarvoor de rivierdalruigtes van de Gelderse Poort de laatste decennia ook belangrijk zijn geweest zijn onder meer Kwartelkoning (broedt hier vooral in voedselrijke ruigtes), Knolribzaad, Peperkers en als jachtgebied voor vleermuizen, oeverwaluw, veel libellensoorten en roofvogels.



Figuur 5.9. Globaal beeld van verspreiding van vochtige ruigten en zomen aan de hand van de geclusterde verspreiding van Sprinkhaanzangerterritoria in de periode 2017-2022 (bron: NDFF).



Figuur 5.10. Globaal beeld van verspreiding van droge ruigten en zomen aan de hand van de verspreiding van de Pijpbloem in de periode 2017 t/m 2022 (bron: NDFF).

Natte en droge pioniersituaties

Kenmerkend voor bijna alle riviersystemen zijn zandige en slijkige pioniersituaties op droogvallende oevers van de hoofdloop, nevengeulen, kleiputten en andere uiterwaardwateren. Kenmerkend voor de Rijn is dat de rivierafvoer tot ongeveer 1 juli boven het jaargemiddelde blijft. De late datum langs de Rijn zorgt er voor dat veel oevers pas halverwege het groeiseizoen droogvallen en daarom niet geschikt zijn voor permanente vegetaties. Hiervan profiteren pioniervegetaties die zich vrij laat in het jaar nog op de kale grond kunnen ontwikkelen. Ter vergelijking: langs de Maas daalt de afvoer in een gemiddeld jaar al rond 20 april onder de jaargemiddelde afvoer. De oppervlakte van deze ecotopen kan jaarlijks variëren, afhankelijk van de variaties in de rivierwaterstanden. Het zwaartepunt van de verspreiding ligt langs de Waal, vooral omdat daar de meeste wateren in de uiterwaard aanwezig zijn en bovendien sprake is van brede rivierstranden (zie paragraaf 4.6).



Ossentong in de Millingerwaard, met op de achtergrond zandige pioniergronden van afgetichelde terreindelen. Inzet Knoflookpad, ingraving in dit gebied (foto's Bart Peters).

Kenmerkend op kleiige oevers (maar ook wel op zand) zijn soorten als Bruin cypergras (zie figuur 5.11), Echt vlooienkruid, Slijkgroen en Fraai duizendguldenkruid, die zich in de laatste 30 jaar sterk hebben kunnen uitbreiden in de Gelderse Poort. Op de meer dynamische zandige en fijngrindige oevers dicht op de rivier zien we, naast bovenstaande pioniers, ook soorten als Welriekende ganzenvoet, Postelein, Riempjes en verschillende amarantensoorten als Kleine majer en Papagaaienkruid. Ook steltlopers profiteren van de vele slikoevers en zandstrandjes langs wateren in de Gelderse Poort.

Naast de meer vochtige en vaak inunderende pioniersituaties zijn droge zandbodems op oeverwallen en in afgetichelde situaties (bv. Millingerwaard) van belang voor een specifieke groep pioniers. Kenmerkend zijn sedumsoorten als Zacht vetkruid en soorten als Veldhondstong, Ossentong, Wede en Rugstreeppad. Op de droge delen van de zandige oeverwallen komen sinds een jaar of 20 weer soorten als Blauwvleugelsprinkhaan en Grindwolfspin voor. Ook een grote gemeenschap van graafbijen en -wespen en bijbehorende goudwespen is afhankelijk van dit soort droge biotopen. Recent is in de Millingerwaard de zeldzame Knoflookpad geherintroduceerd, die (samen met Rugstreeppad) ook profiteert van dit soort milieus, doordat hij zich in het rulle zand ingraaft en hogere zandige terreinen gebruikt als winterbiotoop.

Stroomdalfloravegetaties/stroomdalgraslanden

Stroomdalgraslanden bestaan uit grazige begroeiingen op droge, relatief voedselarme, zandige tot zavelige en meestal kalkhoudende standplaatsen (met een pH van meer dan 6). Zij komen voor op kronkelwaardruggen (langs de IJssel), oeverwallen (langs de Waal, en mindere mate langs de IJssel en Neder-Rijn), rivierduinen (langs de Waal) en op dijken.

Overstroming van stroomdalgraslanden komt slechts incidenteel voor en is dan van korte duur. Deze overstromingen zijn belangrijk voor de instandhouding van het type omdat daarmee baserijk water of vers zand en zavel worden aangevoerd die zorgen voor een blijvende buffering van de standplaats. Ook zijn de zandafzettingen belangrijk voor het terugzetten van de successie, aanvoer van kalk en voor het ontstaan van nieuwe pioniersituaties, waardoor veel stroomdalsoorten zich (opnieuw) kunnen vestigen. In sommige situaties is de periodieke aanrijking met kalkrijk rivierkwelwater al voldoende om geschikte omstandigheden voor stroomdalsoorten in stand te houden.



Figuur 5.11. Voorkomen van slijkige rivieroeveren afgeleid uit de verspreiding van bruin cypergras (links) en slijkgroen (rechts) in de periode 2017-2022 (bron: NDFF).



Droge pioniersituatie op het Millingerduin met Cipreswolfsmelk (foto Bart Peters)

Idealiter is daarom een overstromingsduur wenselijk van zo'n 2 tot 10 dagen, maar er zijn ook plantensoorten uit dit habitat die tot 20 dagen kunnen doorstaan. Het maakt daarbij ook uit in welke tijd van het jaar de overstroming plaatsvindt. Omdat de plaatsen waar kalkrijk rivierzand wordt aangevoerd ook vaak de plekken zijn die snel kunnen ophogen (soms met decimeters per hoogwaterperiode), is de standplaats sowieso aan verandering onderhevig. Verdwijnen van maai- of begrazingsbeheer leidt tot verruiging van de vegetatie. Ook is er een verband met de droogte in de zomer. In jaren met droge zomers blijken stroomdalgraslanden beter te gedijen dan in natte zomers, vanwege de dan veel uitbundigere groei van grassen. Tijdens de droogtes van 2018 t/m 2020 bleken op de oeverwallen van de Gelderse Poort veel duinrietruigtes teruggedrongen te zijn, ten faveure van stroomdalplanten.



Soortenrijke stroomdalfloravegetatie op de oeverwal van de Erlecomse Waard, één van de meest soortenrijke terreinen van het Nederlandse rivierengebied (foto Bart Peters).

Droge stroomdalgraslanden komen verspreid voor in de Gelderse Poort. Ze liggen voor een groot deel buitendijks, op oeverwallen en rivierduinen in het winterbed van Waal en in veel beperktere mate van de Neder-Rijn en IJssel (figuur 5.9). Er is een duidelijk verband met het voorkomen van zandige milieus in de oeverzone van de rivier en in de vorm van oeverwallen (zie ook figuur x.x in paragraaf 4.2). Ook op enkele oude dijken zijn vegetaties aanwezig die behoren tot de droge stroomdalgraslanden.

De oeverwallen van de Waalbochten hebben de laatste 30 jaar een ongekende ontwikkeling van de flora en fauna laten zien. Dat had te maken met verandering van beheer (van agrarisch naar extensieve jaarrondbegrazing), maar vooral ook doordat hiermee zandafzettingen na hoogwater ook konden blijven liggen. In gebieden als de Erlecomse Waard, Klompenwaard, Bisonbaai en Millingerwaard zijn veel zeldzame en zelfs verdwenen soorten, spontaan teruggekeerd en/of sterk uitgebreid (Peters e.a., 2004; Kurstjens e.a., 2004; Calle e.a., 2008; Niemeijer e.a., 2008; <https://www.geldersepoort.net/>). Voor wat betreft de flora moet gedacht worden aan stroomdalplanten als Kleine ruit, Brede ereprijs, Cipreswolfsmelk, Stijve steenraket en Wilde marjolein. De Erlecomse Waard werd, nadat de oeverwal in 1979 nog was afgegraven, in amper 25

jaar tijd het meest soortenrijke stroomdalfloragebied van de Nederlandse Rijntakken (www.rijninbeeld.nl; Peters, e.a. 2012). Hierbij ging het ook om veel soorten die we inmiddels niet meer uit het Nederlandse riviereengebied kende, maar wel uit vergelijkbare situaties in buitenlandse, meer natuurlijk functionerende riviersystemen (of situaties buiten het riviereengebied). Denk daarbij onder meer aan Kleine steentijm, Zandweegbree, Slanke mantelanjer, Violette bremraap, Grijskruid, Riempjes, Borstelkrans, Harige ratelaar en Bijenorchis. Niet alleen de flora profiteerde, maar ook de bijbehorende fauna, waaronder soorten als Oliekever, Bruin blauwtje, Wolfsmelkpijlstaart, luzernevlinders, Knautiabij, Roodborsttapuit, Veldleeuwerik, Duinsabelsprinkhaan, Blauwvleugelsprinkhaan en de tot voor kort uitgestorven Weidesprinkhaan. De ruigere delen zijn daarnaast belangrijk voor libellenfauna (o.a. rivierrombout), jachtgebied voor vleermuizen en recent broedplek van Grauwe klauwier.

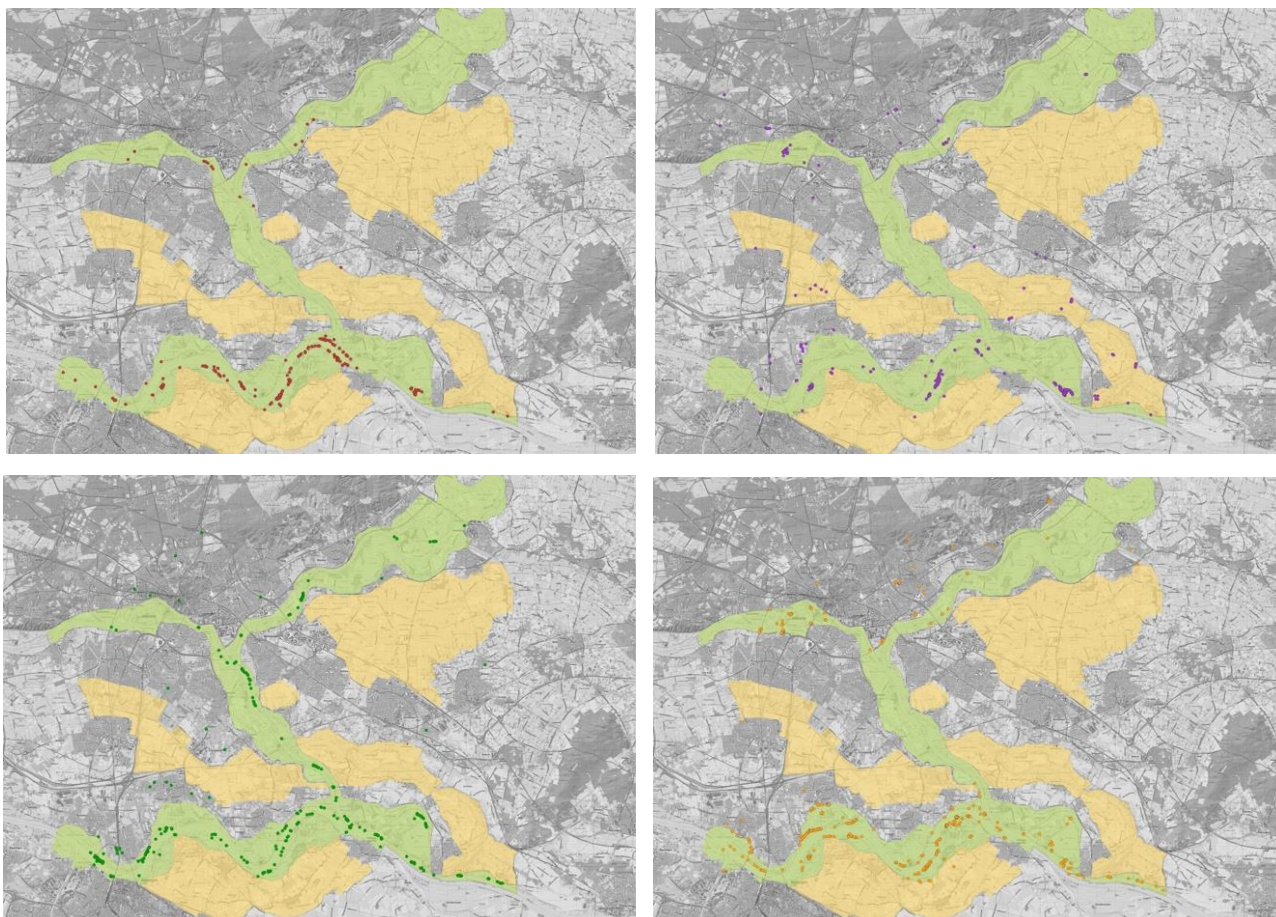
De 'Flora en Faunawerkgroep Gelderse Poort' werd in 2004 opgericht naar aanleiding van een grote inventarisatieronde in opdracht van de Provincie Gelderland (Peters e.a., 2004; Kurstjens e.a., 2004) en houdt sindsdien de ecologische ontwikkelingen (deels) bij (<https://www.geldersepoort.net/>). Het is met het oog hierop van belang te realiseren dat de ecologische rijkdom van de oeverwalsystemen in de Gelderse Poort ook samenhangt met de variatie in (vegetatie)structuur. Het gaat bijvoorbeeld niet alleen om kort stroomdalgrasland, maar juist de vermenging met droge zandafzettingen/pioniersituaties, iets ruigere delen en struweel, maken de variatie groot. Wel is periodieke morfodynamiek en de afzetting van zand een belangrijk proces op langere termijn. Het is inmiddels ook duidelijk dat de oeverwalvegetaties op termijn baat hebben bij, en zelfs afhankelijk zijn van het terugzetten van de successie door periodiek afgraven of doorsteken (cyclisch verjongen; Helmer, 1999; Peters e.a. 2006). De rivier zelf is immers vastgelegd en is niet meer in staat dit spontaan te doen. Dit principe is ook onderdeel uit van het project "Dynamisch Uiterwaardenbeheer", zoals dit thans door Staatsbosbeheer en Ark, in samenwerking met Rijkswaterstaat, loopt (Peters, 2020).

De ontwikkelingen in de Gelderse Poort hebben ons ook veel geleerd over de werkelijke ecologie van dit soort stroomdalfloravegetaties. Waar voorheen vooral een beeld van kort gegraasde of gemaaide stroomdalgraslandjes bestond (historisch plaatselijk mooi bewaard gebleven langs de IJssel, en in de Gelderse Poort bij Tolkamer en op sommige dijktraject), is op de dynamische oeverwallen langs de Waal (maar in potentie ook wel lokaal langs de IJssel) juist een meer gevarieerde vorm kenmerkend, die we ook herkennen van natuurlijke riviersystemen in het buitenland. Dit is onder meer belangrijk in discussies over 'kwalificerendheid' in het kader van N2000-doelen (waarin de stroomdalfloravegetaties soms nog steeds wat te eng gedefinieerd worden, ondanks dat wel gewerkt wordt aan een herijking van de definities in profielendocumenten).

Glanshaver- en Vossenstaartgraslanden/-hooilanden

We nemen in deze systeemanalyse begraasde graslanden en hooilanden bewust samen (i.t.t. de benadering die soms vanuit N2000 wordt gehanteerd). Ze zijn beide ecologisch interessant en er zit, zeker in de Gelderse Poort, geen logica achter het eenzijdig aanwijzen van hooilanden, zonder daarbij ook de vaak minstens zo soortenrijke begraasde graslanden mee te nemen. Dit sluit ook goed aan op de systeembenadering die vanuit PAGW wordt voorgestaan.

Glanshaver- en vossenstaartgraslanden zijn kruidenrijke graslanden op tamelijk voedselrijke, doorgaans kleihoudende gronden, zoals zavelige oeverwallen, uiterwaardgronden op zandige klei en zavelige dijken. Ze liggen met name in de uiterwaarden en komgronden op vochtige tot matig droge, relatief voedselrijke klei-, zavel- en leemgronden en op kleilig zand. Op de meest vette kleigronden zijn dit soort graslanden floristisch nooit echt soortenrijk. De bodem is overwegend kalkhoudend tot kalkrijk.



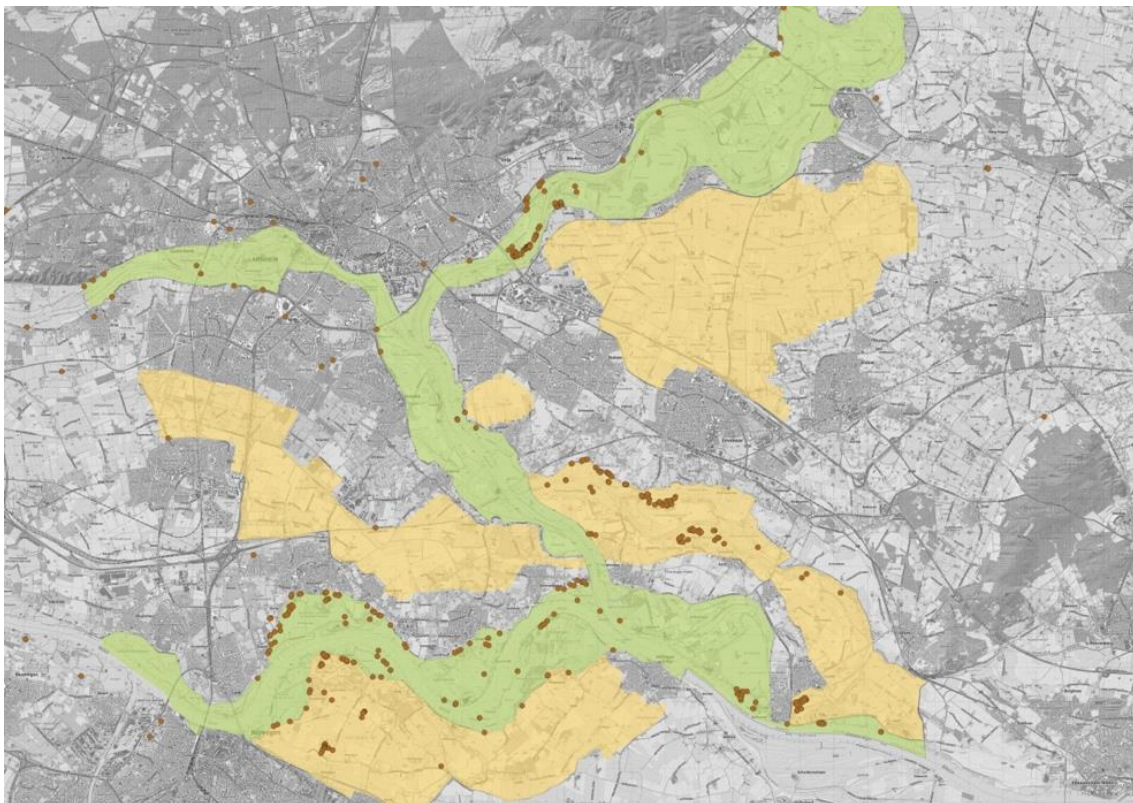
Figuur 5.12. Actuele verspreiding van stroomdalgrasland in de Gelderse Poort, weergegeven aan de hand van de verspreiding van Brede ereprijs (linksboven), Veldsalie (rechtsboven), Bieslook (linksonder) en Zacht vetkruid (rechtsonder) in de periode 2017-2022 (bron: NDFP).

Glanshavergraslanden komen hoger in de zonering voor dan vossenstaartgrasland en zijn minder goed bestand tegen zomeroverstromingen. Winteroverstromingen zijn geen bezwaar, mits het water weg is bij het begin van het groeiseizoen. De inundatiefrequentie is daarom hoger dan die van stroomdalgraslanden en bedraagt tot maximaal ca. 30 dagen. Kenmerkend voor Glanshavergraslanden zijn soorten als Beemd kroon, Groot streepzaad, Karwijvarkenskervel, Glad walstro, Knoopkruid en Margriet. In begraasde situaties komen broedvogels als Gele kwikstaart en Graspieper voor en in minder begraasde, ruigere situaties en hooiland zijn Kwartelkoning, Roodborsttapuit en Sprinkhaanzanger kenmerkend. Daarnaast zijn de graslanden met name in begraasde vorm van belang voor sprinkhanen als Gouden sprinkhaan en Moerssprinkhaan en veel andere ongewervelden.

Vossenstaartgraslanden komen vooral voor op klei-, zavel- en klei-op-veengronden in de benedenloop van de rivieren, waar de waterstandsschommelingen beperkt zijn, maar waar bodem in de zomer slechts oppervlakkig uitdroogt. Inundaties in de winter worden goed verdragen, en overstroming met rivierwater in winter en vroege voorjaar is op lange termijn noodzakelijk voor de aanvoer van basenrijk- en nutriëthoudend sediment en verspreiding van zaden. De inundatiefrequentie kan daarom oplopen tot 40 of 50 dagen, mits deze buiten het groeiseizoen valt. Vossenstaartgraslanden zijn in de situatie van de Gelderse Poort (mede door de kleiige ondergrond) floristisch vaak niet zo soortenrijk, met kenmerkende soorten als Pinksterbloem, Fioringras, boterbloemen en Grote vossenstaart. In begraasde situaties is in deze zone ook Rode ogentroost soms kenmerkend (vooral op lemige bodems). In het voorjaar als de gronden vaak nog nat zijn, zijn

het soms belangrijke foerageerbiotopen voor steltlopers als Tureluur, Witgatje, Watersnip, Groenpootruiter en Grutto.

Glanshavergraslanden komen in de extensief begraasde uiterwaarden van de Waalgebieden uitgebreid voor, maar meestal in mozaïek met ruigte en struweelontwikkeling (en dus beginnend hardhoutoibos). Vossenstaartgrasland en vergelijkbare vochtige vegetaties vinden we in de gebieden lager gelegen, vaak op overgangen naar waterpartijen in de uiterwaard, waarbij ze overgaan in zilverschoonvegetaties en uiteindelijk slikoevers. Goed ontwikkelde glanshaverhooilanden komen in de Gelderse Poort voornamelijk voor op hellingen van winterdijken, zowel op de binnen- en buitentaluds van de winterdijk, maar plaatselijk ook in het Rijnstangengebied als hooilandperceel. Langs de IJssel komt glanshaverhooiland o.a. voor in de Velperwaarden en op met zavel of lichte klei bedekte kronkelwaardruggen.



Figuur 5.13. Actuele verspreiding van Gele Morgenster in de periode 2017-2022 (bron: NDFP) als indicator voor gebieden die geschikt zijn voor het habitat van glanshavergraslanden

Open water

In het rivierengebied komt het N2000-habitatype 'meren met krabbenscheer en fonteinkruiden' voor in luwe gedeelten van het winterbed, in plassen, oude rivierarmen en strangen, kolken en wielen en andere niet droogvallende stilstaande wateren. Het gaat in het beste geval om stilstaand, helder, matig voedselrijk, hard water. Het fosfaatgehalte van het water mag niet te hoog zijn (het optimum ligt tussen 0,04 en 0,1 mg P-totaal per liter water). Bij te hoge gehalten kan algenbloei optreden die leidt tot het verdwijnen van ondergedoken waterplantenvegetaties. In de praktijk wisselt de kwaliteit van met name de uiterwaardwateren sterk, afhankelijk van de invloed van rivierwater, mate van droogval (daling grondwaterstanden) en het optreden van kwel.

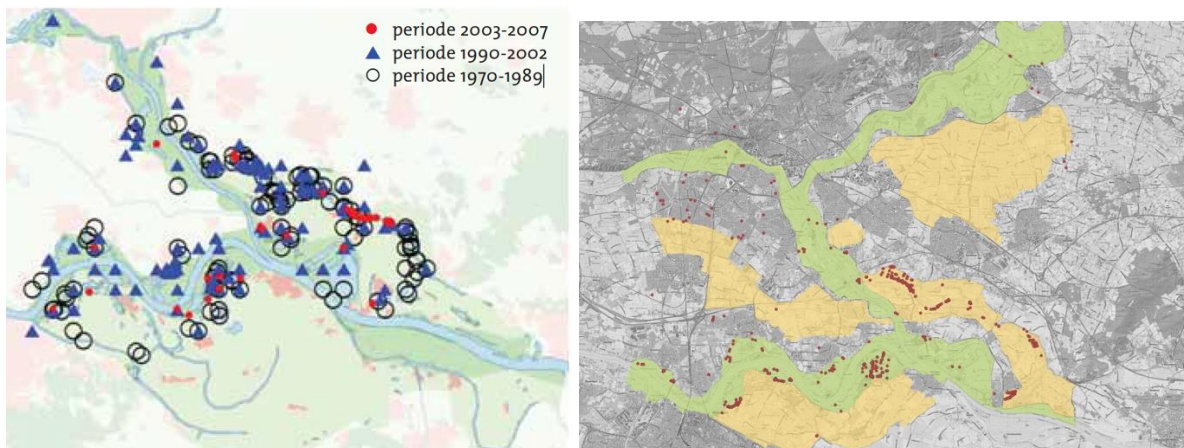
Het habitatype is te verdelen in twee subtypen:

5. een soortenrijker variant van heldere wateren waarin doorgaans minder dynamiek en droogval optreedt. Het optreden van lange kwel en/of rivierkwel is doorgaans belangrijk voor

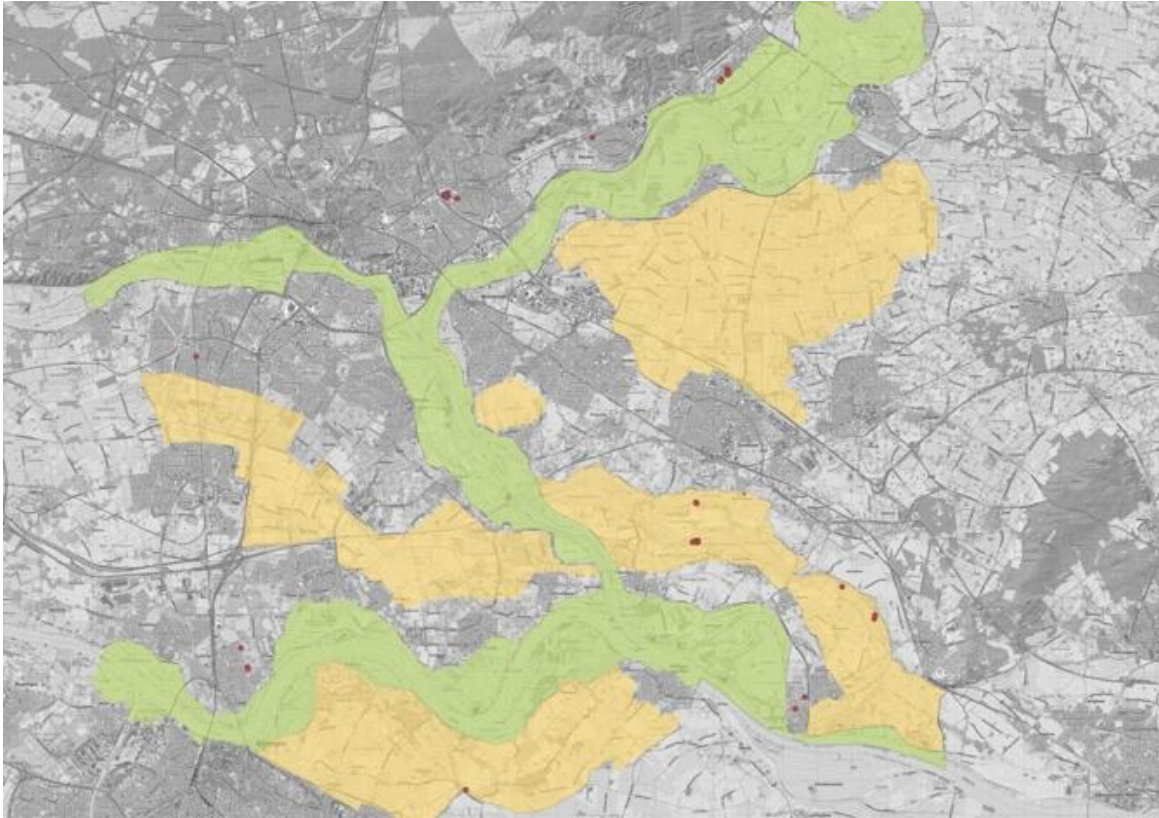
deze wateren (o.a. in de Steenwaard bij Herpen). De vegetatie bestaat uit een rijke waterplantenbegroeiing met fonteinkruiden, Vederkruidsoorten, Pijlkruid, Groot blaasjeskruid en Krabbenscheer. Momenteel komt dit type alleen lokaal in de Rijnstrangen voor (binnendijks), maar bekaide gebieden, die maar zelden overstromen, kan het ook in het winterbed voorkomen.

6. een algemeen voorkomende variant met weinig kritische soorten (vooral drijfbladplanten als watergentiaan, Gele plomp en Zwanenbloem), dat veel voorkomt in de uiterwaarden, maar ook binnendijks. Dit type is beter bestand tegen tijdelijke uitdroging en (beperkte) vertroebeling dan het type hiervoor, en kan derhalve nog langer buitendijks voorkomen.

Voor de jaren '70 kende met name de Rijnstrangen nog een rijke waterplantenbegroeiing met veel Krabbenscheer, fonteinkruiden en Waterviolier (zie fig. 5.14 t/m 5.16). Sindsdien is dit type sterk achteruitgegaan. Een soort als Krabbenscheer is nooit helemaal verdwenen (Peters e.a., 2004) en recent zijn ook weer wat nieuwe standplaatsen gevonden (waarneming.nl). Vermoedelijk spelen waterkwaliteit en dalende grondwaterstanden/optreden van kwel een belangrijke rol bij de achteruitgang van de soort. In de Millingerwaard is de waterplantenbegroeiing met Waterviolier, die tot voor kort in de kleiputten bij Kerkerdom voorkwam, verdwenen. Dit hangt vooral samen met droogval door gedaalde grondwaterstanden als gevolg van beddinginsnijding in combinatie met aanleg van de nieuwe geul. In de nieuw aangelegde geulen in de Millingerwaard (de 'vingers') ontwikkelen zich thans echter onder invloed van rivierkwel nieuwe waterplantenvegetaties. Ook daar gaat de daling van de grondwaterstanden door zomerbederosie echter snel en treedt nu al regelmatig droogval op. Ook in de oude kleiputten van de Gendtse Polder en Oude Waal bij Nijmegen speelt deze problematiek.

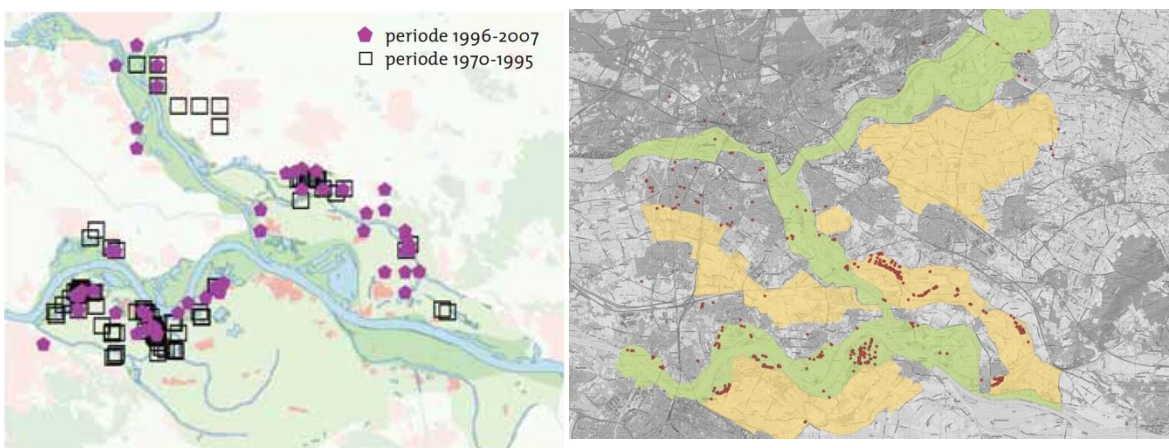


Figuur 5.14. Verspreiding van het potentiële gebied voor het habitatype 'Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden' aan de hand van de verspreiding van Watergentiaan in drie perioden (links) tussen 1979 en 2003. De actuele verspreiding in de hele Gelderse Poort, inclusief de IJssel (rechts) in de periode 2017-2022 (bron: Flora en Faunawerkgroep Gelderse Poort en NDFF).



Figuur 5.15. Actuele verspreiding van Krabbenscheer (bron: NDFF).

Door de steeds diepere insnijding van de rivier is de drainerende werking op uiterwaardplassen en binnendijs gelegen wateren in de afgelopen decennia steeds groter geworden. De hoeveelheid rivierkwel die naar deze plassen stroomt, is daardoor sterk afgenomen. Dit blijkt o.a. uit de afgenomen verspreiding van een kwelindicator als Waterviolier (figuur 5.13). Alleen bij hogere rivierstanden kan tegenwoordig het proces van rivierkwel nog optreden.



Figuur 5.16. Waterviolier. Verspreiding gedurende twee perioden in de Gelderse Poort. Er is een duidelijke afname zichtbaar in de Ooijpolder (Oude Waal, Circul en Ooijse Graaf). Rechts de huidige verspreiding in de periode 2017-2022 (bron: Flora en Faunawerkgroep Gelderse Poort en NDFF).

Naast flora zijn de wateren in de Gelderse Poort cruciaal voor veel diersoorten. In pionierwateren van het gebied komt Rugstreeppad voor en recent is ook Knoflookpad geherintroduceerd. Beide soorten hebben (vaak tijdelijke) ondiepe wateren in zandige milieus. Hoge zandige oeverwallen zijn

bovendien belangrijk winterbiotoop. In meer begroeide geulen en plassen zitten algemenere amfibieënsoorten en in de Rijnstrangen ook Ringslang. Bovendien zijn deze wateren rijk aan limnofiele libellensoorten als Korenbout, Vroege glazenmaker en Glassnijder. Groene glazenmaker is met de achteruitgang van Krabbenscheer verdwenen, maar zou een mooie doelsoort voor de toekomst kunnen zijn (met name in de Rijnstrangen). Ook zijn deze wateren van belang voor de visfauna en daarmee als foerageergebied voor tal van watervogels en reigerachtigen.

Als gevolg van de bodemdaling van het zomerbed komen overstromingen van uiterwaarden steeds minder voor, ook in de winter, en ook is de gemiddelde waterstand sterk gedaald. Het gevolg hiervan is dat permanente wateren vaker droogvallen en tijdelijke wateren al veel eerder in het seizoen droogvallen. Met name waterplantenvegetaties hebben hieronder te leiden en de kansen voor herstel zijn in de Gelderse Poort inmiddels beperkt (zie figuur 5.17). Alleen langs de Boven-IJssel en het gestuwde deel van de Neder-Rijn is de situatie iets beter omdat de waterstanden hier 's zomers minder ver uitzakken.



Watervegetatie met Waterviolier in rivierkwelgevoede kleiputten (Kekerdome Waard). Inmiddels is deze vegetatie door structureel gedaalde grondwaterstanden verdwenen (foto Bart Peters).



Rijnstrangengebied met rietland en open water en drijvende waterplanten (foto Bart Peters)



Figuur 5.17. Kansen voor waterplanten onder huidige omstandigheden (Van Geest & Teurlincx, 2014).

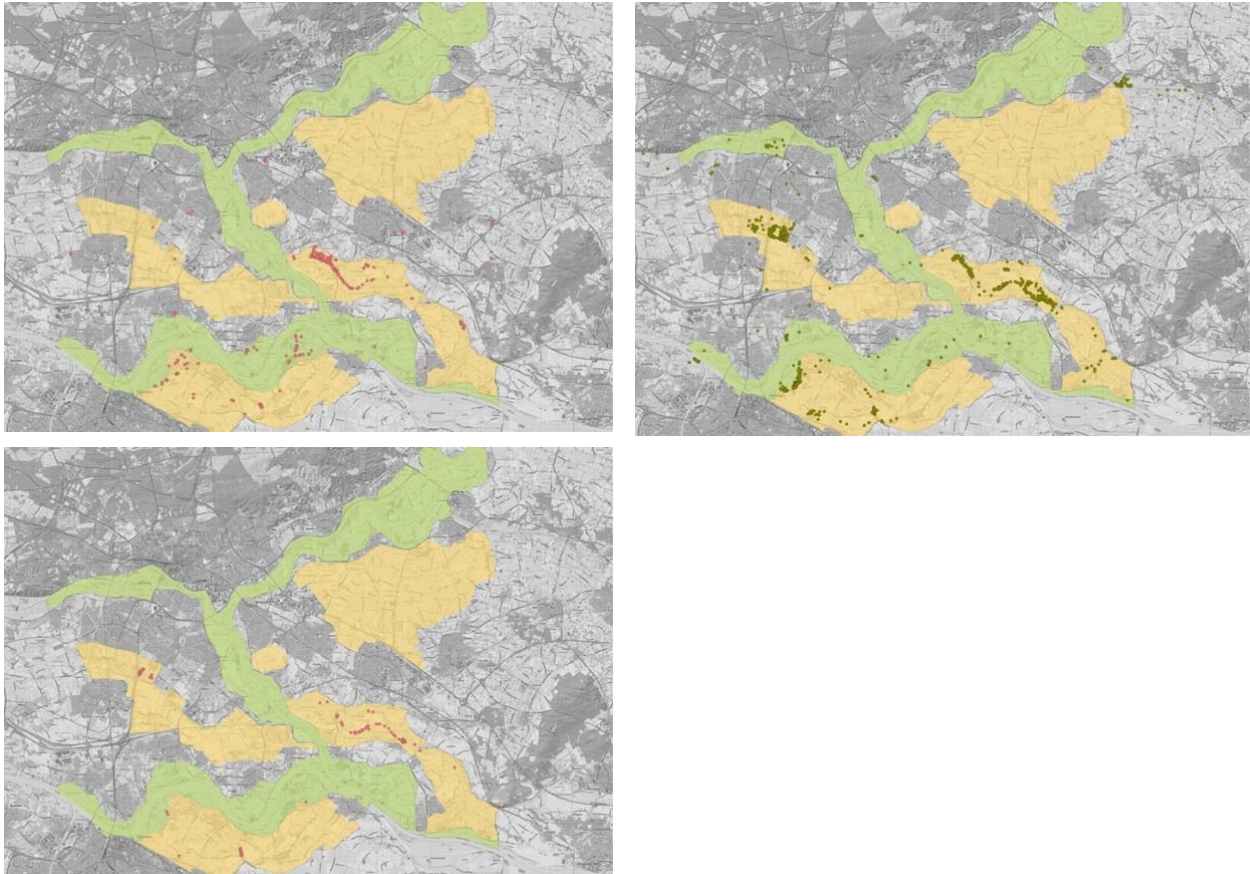
Rietmoerassen

Rietmoerassen komen in het rivierengebied voor in de minder dynamische gedeelten met een gedurende het groeiseizoen langzaam uitzakkende waterstand, zoals plassen, oude rivierarmen en strangen en andere stilstaande wateren. Het meest vitale riet groeit in ondiep water dat bijna nooit droogvalt (waterriet). Die omstandigheden doen zich in de Gelderse Poort nauwelijks meer voor omdat de grondwaterstanden te veel schommelen en droogval te vaak optreedt. Riet kan daardoor op veel plaatsen alleen in stand blijven onder een beheer van jaarlijks maaien. Zonder dit beheer zou het rietland snel verruigen en verbossen.

Een goed voorbeeld hiervan is het rietland van Tiengeboden nabij Ooij. Dit maakt de buitendijkse gebieden van de Gelderse Poort op het ogenblik ook weinig kansrijk voor de ontwikkeling van (uitgebreide) rietlanden. In de Rijnstrangen zijn de kansen voor Riet beter, door een vaster peilbeheer, waarbij grondwaterstanden constanter worden gehouden. Ook daar hebben we echter te kampen met verdrogende situaties en structureel te lage grondwaterstanden.

Waterriet kan overigens wel profiteren van heel sporadische droogval in de nazomer, omdat dan kieming van nieuwe riet kan optreden en strooisel versneld verteerd. Bovendien kan het riet dan via wortelstokken verder het water ingroeien. Ook sporadische doorstroming van rietlanden kan gunstig werken omdat daarmee oude strooisellagen worden afgevoerd. Echter steeds met mate. Inundaties in de winter kunnen ook helpen om grond- en oppervlaktewater voldoende aan te vullen. Overstromingen in het groeiseizoen worden minder goed verdragen.

Tot in de '80-er jaren kwam rietmoeras in ondiepe wateren in de bekaide gebieden langs de Waal nog veel voor (Oude Waal, Kekeerdome waard). Nadien eiste vooral de daling van het grondwater en verdroging ook in de binnendijkse gebieden zijn tol (Groenlanden en Ooijse Graaf), waardoor ook daar gebieden sinds met name de jaren '90 verlande en verboste. Deze daling van het grondwater is vooral het gevolg van de insnijding van de Waal, maar ook vanwege de snellere ontwatering t.b.v. de landbouw, zodat langzaam uitzakkende waterstanden in het voorjaar nauwelijks meer voorkomen en gebieden in de zomer al snel droogvallen. In de verspreidingskaartjes van de broedvogels van rietmoeras is te zien dat de Ooijpolder, de uiterwaarden en het zuidelijk deel van de Oude Rijnstrangen praktisch zijn 'leeggelopen'.



Figuur 5.18. Actuele verspreiding (2017 – 2022) van de snor een uitgesproken soort van rietmoerassen (linksboven) en van de rietzanger (rechts). Linksonder is ook de verspreiding van de lidsteng weergegeven een plant die kenmerkend voor kwelrijke moerasgebieden. Naast het bolwerk voor soorten van moeras in de Rijnstrangen zijn deze soorten recent ook waargenomen in het nieuwe rietmoeras in park Lingezege (bron: NDFF).



Watergentiaan in de Oude Waal bij Nijmegen (foto Bart Peters).

6. Leidende Principes voor maatregelen in de Gelderse Poort

Via de PAGW zullen maatregelen getroffen worden om rivierensysteem ecologisch robuust en veerkrachtig te maken. Dit is noodzakelijk om veranderende (klimaat)omstandigheden op te kunnen vangen en de grote wateren in de toekomst economisch te kunnen blijven benutten en verder te ontwikkelen. Het zal daarbij gaan om verbeteringen op het gebied van dynamiek, schaal, kwaliteit, variatie en connectiviteit.

Uitgangspunt voor de PAGW is daarbij dat maatregelen goed dienen aan te sluiten bij de kenmerken van de Gelderse Poort en de daarin onderscheiden riviertrajecten en gebieden. Deze systeembenadering geeft daarvoor de handvatten om toe te werken naar een set van maatregelen die logisch in het systeem passen, duurzaam van karakter zijn en maatschappelijk uitlegbaar

Om het toekomstige ontwerpproces te faciliteren is een set van 5 leidende principes ontleend aan deze LESA. Het zijn de vuistregels voor het formuleren van de juiste oplossingsrichtingen en daarbij passende maatregelen in het kader van PAGW Gelderse Poort.

Hierna wordt van ieder leidend principe toegelicht: 'waarom' ze belangrijk zijn en 'hoe' ze toegepast kunnen worden. Bij de 'hoe' vraag worden mogelijke maatregelen beschreven, maar hierbij gaat het slechts om enkele voorbeelden die bruikbaar kunnen zijn bij de verdere uitwerking. De eerste 4 principes zijn algemeen en gelden voor de hele Gelderse Poort. Het 5^e principe is toegespitst op de verschillende riviertrajecten, die vanwege hun grote verschillen vaak ook om verschillende oplossingen vragen.

1. Herstel de hydrologische relatie tussen rivier en uiterwaarden.

Toelichting:

- Het riviersysteem is gebaat bij herstel van dynamiek in de vorm van overstroming en doorstroming van uiterwaarden (met natuurlijke zonering van oeverwal tot aan de winterdijk/hoge gronden). Rivierwater moet de uiterwaarden daarom direct (via overstromingen) en indirect (via rivierkwel) kunnen bereiken. Het zorgt voor een betere waterkwaliteit en ecologische ontwikkeling (rijke waterplantenvegetaties) met een grote variatie aan permanente en tijdelijke watertypen.
- Het oorspronkelijke systeem van de Gelderse Poort werd gekenmerkt door een veel geringer hoogteverschil tussen zomer- en winterbed dan in de huidige situatie. Rivierwater bereikt de uiterwaard daarom veel minder vaak, rivierkwelstromen verminderen en uiterwaardwateren vallen veel vaker droog vanwege onvoldoende aanvulling en dalende grondwaterstanden. Dit heeft geleid tot sterke verdroging van kenmerkende natte rivierecotopen (oobos, natte graslanden en riviermoeras).
- De onnatuurlijke hoogteverschillen hebben eveneens geleid tot verlies van connectiviteit van soorten tussen rivier en winterbed.

Mogelijke maatregelen:

- Het systeem is over de hele linie gebaat bij het herstellen van jaarrond hogere grondwaterstanden. Het tegengaan en teruggedraaien van zomerbederosie in combinatie met het vaker laten overstromen van uiterwaarden door uiterwaardverlaging en verwijderen van zomerkades is hierbij cruciaal. In blijvend bekade situaties kan dit eventueel door het langer vasthouden van water na een hoogwater (second best).
- Structuren die het water in de uiterwaard kunnen brengen kenmerken zich zowel door hoge dynamiek als lage dynamiek; bv rivierkwelgeulen (laag), stromende nevengeulen (hoog), strangen (laag), periodiek droogvallende geulen (laag) en uiterwaardverlaging (hoog en laag).

- Bij uiterwaardverlaging gaat de voorkeur uit naar reliëfvolgend verlagen tot op onderliggende zanden of het deels verlagen van oeverwallen.
- Bij het verbeteren van de connectiviteit moet er ook aandacht zijn voor soorten en soortgroepen (bv amfibieën) die juist gebaat zijn bij isolatie.
- Voor goed functionerende stromende wateren is voldoende debiet noodzakelijk. Uitgangspunt moet zijn dat de stroomsnelheid ca 50 cm/s bedraagt en geulen niet droogvallen tijdens perioden met laagwater. Het debiet hangt dan af van de natte doorsnede van de geul, wat in de praktijk zal betekenen dat de geul het minimaal 2 tot 3% van de rivierafvoer zal afnemen.
- Anticipeer met de maatregelen op klimatologische veranderingen die nu al waarneembaar zijn, zoals langdurige droge perioden in de vroege zomer.

2. Revitaliseer de oorspronkelijke morfologische processen van de rivier

Toelichting:

- Een groot aantal ecotopen en bijbehorende soorten en levensgemeenschappen is afhankelijk van de morfologische processen die kenmerkend zijn voor het riviersysteem. Denk daarbij aan het verplaatsen van de bedding waardoor in de buitenbocht erosie optreedt en in de binnenbocht sedimentatie, waarbij zandige eilanden, nieuwe geulen en oeverwallen met rivierduinen steeds weer opnieuw ontstonden. Door het vastleggen van de rivier (sinds 1870) is deze dynamiek verloren gegaan en concentreert de erosie zich alleen nog op de rivierbodem en is sedimentatie voorbehouden aan de uiterwaarden. Ondertussen neemt ook de sedimentatie af omdat de uiterwaarden onbereikbaar zijn geworden voor het rivierwater (zie onder 1).
- Zandoverslag en oeverwalvorming leidt onder meer tot rijke stroomdalfloravegetaties (en bijbehorende fauna), struweelgraslanden (met o.a. Roodborsttapuit, Grauwe klauwier), kenmerkende pioniervegetaties (soorten als Bruin cypergras, Riempjes, veel steltlopers) en op termijn goede kansen voor droog hardhoutooibos.

Mogelijke maatregelen:

- Grootschalig herstel van deze processen is binnen het huidige rivierbeheer niet mogelijk, waardoor veel soorten die ervan afhankelijk zijn het moeilijk (kunnen) krijgen. Om deze soorten niet te verliezen zullen de structuren waar het om gaat actief gecreëerd moeten worden, door oeverwallen te verlagen en nevengeulen (uit) te graven.
- Daarnaast kunnen op kleinere schaal van locatie tot locatie kansen benut worden, bv door de overstromingsfrequentie te vergroten, waardoor sedimentatie weer zal toenemen.
- De beschikbaarheid van zand in de rivieroevers en kribvakken is een belangrijke voorwaarde om zandafzettingen mogelijk te maken. Dit principe kan gestimuleerd worden door verwijderen van oeverbestorting, en is ook van belang in relatie tot de effectbepaling/wenselijkheid van bv. langsdammen.
- Het systeem is ook gebaat bij het netto vasthouden van zand en maatregelen die dit ondersteunen. In de huidige situatie van een insnijdend zomerbed is er een tekort aan zandig/fijngrindig materiaal. Maatregelen die bijdragen aan het verkleinen van dit tekort (verbetering sedimenthuishouding, beschikbaarheid van zand) zijn belangrijk voor het riviersysteem van de Gelderse Poort en de natuurwaarden die daarin een rol spelen.
- Ophoging van het zomerbed met zand en fijn grind is in alle gevallen gunstig vanuit de systeemkenmerken van dit riviertraject.

3. Creëer ruimte en tijd voor natuurlijke successie

Toelichting:

- Omvangrijke aaneengesloten en samenhangende leefgebieden maken natuurgebieden toekomstbestendig omdat er ruimte is voor een grotere diversiteit en abundantie van

soorten. Er verschijnen meer soorten en de kans op volwaardige populaties neemt daardoor sterk toe.

- De connectiviteit wordt zo verbeterd waardoor overwinteringsgebieden, voortplantingsgebieden en foerageergebieden weer toegankelijk worden en beter verbonden.
- Naast meer ruimte is het belangrijk om ecosystemen ook de tijd te geven voor een volwaardige ontwikkeling. Nu wordt vaak veelvuldig ingegrepen, waardoor de successie telkens wordt onderbroken. Het gaat daarbij niet alleen om de ontwikkeling van de vegetatie, maar ook die van de bodem en de daarin levende organismen.
- Soorten hoger in de voedselketen (zoals Zwarte Wouw, Zeearend, Visarend) hebben, voor definitieve vestiging, naast geschikt voedselbiotoop, ook behoefte aan relatief rustige broedlocaties. Dit element ontbreekt vooralsnog grotendeels in de Gelderse Poort.

Mogelijke maatregelen:

- Omvang en ligging van deze gebieden komen tot stand op basis van de systeemkenmerken van de Gelderse Poort (zie deze LESA) en de gekwantificeerde opgaven van PAGW.
- Betrek ook binnendijkse gebieden in de zoektocht naar nieuw areaal. Het riviersysteem kan gebaat zijn bij het ontwikkelen van enkele ontbrekende of weinig voorkomende ecotopen in deze gebieden.

4. Versterk relatie tussen riviersysteem en omgeving.

Toelichting:

- Het systeem is gebaat bij een goede relatie tussen de ecotopen waar de rivier actief invloed op uit kan oefenen en gebieden daaraan grenzend. Zo kunnen binnendijks maatregelen worden getroffen die leiden tot versterking van buitendijkse ecotopen en omgekeerd. Ook liggen in binnendijkse gebieden kansen voor het realiseren van ooibos in trajecten waar dat in het winterbed lastig te realiseren is.
- In de binnendijkse gebieden bevinden zich relictten uit de periode dat de rivier er nog actief was (o.a. verlaten meanders, maar ook de Rijnstrangen). Voor veel soorten van het rivierengebied kunnen dit interessante ecotopen zijn omdat, buiten de actieve overstromingsdynamiek, veel processen nog wel actief zijn, bv rivierkwel.
- Om bestaande en nieuw te ontwikkelen natuur in binnendijkse gebieden te verbeteren en een rol te laten spelen voor het systeem als geheel is het nodig gebieden met elkaar te verbinden. Het is derhalve goed om aan beide kanten van de dijk te kijken.
- Kenmerkend voor binnendijkse gebieden (met name langs de Boven-Rijn, Waal en Neder-Rijn) is het optreden van rivierkwel in wateren/moeras/natte graslanden.

Mogelijke maatregelen:

- Bij natuurherstel binnendijks altijd de kansen voor kwel meenemen. Dit kan een belangrijk principe vormen bij het herstel van oude rivierlopen (bv. Ooijse Graaf), kwelrijke graslanden, nat ooibos en oude kolken aan de binnendijkse zijde van de winterdijk.
- Onderzoek de mogelijkheden voor het benutten van kwel bij de ontwikkeling van natte ecotopen (bijvoorbeeld broekbos /zachthoutooibos in de komgronden van het Duivense en Zevenaarse Broek).

5. Pas ingrepen toe volgens vorm, maat en schaal, passend bij het specifieke deelgebied

Toelichting:

- De Gelderse Poort is een veelzijdig gebied waarin de Rijn zich verdeelt over 3 rivieren met ieder een geheel eigen karakteristiek, die het gevolg is van de verschillen in ondergrond, hydrodynamiek en morfodynamiek in het verleden en wat daar nu nog van resteert.
- Om deze unieke verscheidenheid te respecteren moeten ingrepen steeds aansluiten bij de trajectspecifieke kwaliteiten. Het helpt om hierbij de vraag te stellen: 'had de rivier het op deze plek zelf zo kunnen maken'.

Hierna volgt een overzicht van de karakteristieken per deelgebied om rekening mee te houden. Het 'waarom' en het 'hoe' lopen hier door elkaar heen.

Boven-Rijn/Waalbochten:

- Aanzandingsprocessen en -structuren (en oorspronkelijk ook erosie) vormen een cruciaal kenmerk, onder meer in de vorm van zandplaten (al dan niet in geulen), zandige en fijngrindige pointbars/oeverafzettingen en actieve oeverwallen en rivierduinen. Het systeem is er daarom bij gebaat om dit soort morfologische processen bij inrichting (bv. geulen, maaiveldverlaging) te stimuleren, te reactiveren en/of mogelijk te maken.
- Vanwege het grote zandtransport kenmerken geulen zich hierdoor snel bovenstrooms te verzanden, maar benedenstrooms nog lang aangetakt te blijven. Bovenstrooms ontstaan daardoor kenmerkende aanzandingslandschappen, terwijl in de geulen rivierkwel een belangrijke rol gaat spelen, als gevolg van waterstandverschillen tussen de benedenstroomse opening en de bovenstroomse (rivier- en grond)waterstand.
- Stromende geulen maken in de natuurlijke situatie onderdeel uit van dit traject maar het proces waardoor ze ontstaan (beweeglijke bedding) is niet meer aanwezig. Ze vragen daarom om actieve aanleg en ook cyclisch beheer om verzanding tegen te gaan.
- De beschikbaarheid van zand in de rivieroever en kribvakken en het ondersteunen van maatregelen voor het netto vasthouden ervan zijn een belangrijke voorwaarden om zandafzettingen mogelijk te maken.
- Substantiële ophoging van het zomerbed in dit traject met zand en fijn grind is in alle gevallen gunstig vanuit de systeemkenmerken van dit riviertraject omdat daarmee meer zand beschikbaar komt voor processen in de oeverzone.

Boven-IJssel, Pannerdens kanaal en Neder-Rijn

- De zuidelijke IJssel kent een bijzondere rivierkundige historie waarin onderdelen met een verschillende ontstaansgeschiedenis (en dus ook andere systeemkenmerken) vlak naast elkaar liggen en daardoor is de variatie binnen het gebied groot (zeker rond de Havikerwaard en Fraterwaard). Kenmerkende structuren laten zich hier vaak beter op uiterwaardniveau beschrijven dan op trajectniveau.
- Het systeem van de kronkelwaarden is één van de relictten uit deze ontstaansgeschiedenis en verbonden met specifieke eigenschappen van de ondergrond en het type meander dat zich in de IJssel ontwikkelde. De diepere, nabij de rivier gelegen geulen kenmerken zich door stagnante, (rivier)kwelgevoede wateren. De tussenliggende ruggen zijn dankzij de overstromingsdynamiek relatief zandig en kalkrijk.
- Stromende nevengeulen passen zelden in het systeem van de Zuidelijke IJssel, omdat dit type geulen gerelateerd is aan eilandvorming en zich verleggende meanders, processen die zich in de zich insnijdende IJssel niet of nauwelijks zijn opgetreden. Uitzondering hierop zijn de lokaal aanwezige voormalige riviertrajecten, zoals de Lamme IJssel, die recent nog met de rivier verbonden waren en diep genoeg liggen voor een permanente aantakking.
- In oude geulstructuren aan de westflank van de IJsselvallei kan de lange kwel vanaf de Veluwe worden benut voor helder (ijzerrijk) water van relatief goede kwaliteit, waar specifieke natuurwaarden (Holpijpvegetaties, rijke libellenfauna) van profiteren.
- Benut de permanent hogere rivierwaterstanden binnen het stuwpand Driel om natte ecotopen te stimuleren/realiseren. Bijvoorbeeld door de uiterwaarden reliëfvolgend te verlagen.
- Benut en stimuleer de kwelstromen uit de Veluwe in de uiterwaarden door ontwatering te verminderen en zo nodig uiterwaarden (deels) te verlagen.

- Neem in het beheer van de stuw van Driel de ecologische eisen (smart maken; stilstaand water vermijden) van de (aquatische) natuur van de IJssel en het Pannerdens Kanaal mee.

Rijnstrangen

- Sinds de vrijwel permanente afsluiting van het actieve riviersysteem zijn waterplantrijke strangen en laagdynamische riviermoerassen/rietland kenmerkend voor dit deelsysteem. Iets hoger gaan deze over in een zone met ooibos, zowel zachthoutooibos als (iets nog hoger) hardhoutooibos.
- Vanwege het feit dat het systeem van oude rivierlopen niet meer actief, beweegt de natuurlijke successie zich in de richting van verlanding met ooibos als eindstadium. Afhankelijk van de keuze van de ontwikkelingsrichting dient het beheer hierop te worden afgestemd; dit is geen leidend principe maar vraagt om een beleidskeuze.
- Het moerassysteem is gebaat bij structureel hogere waterstanden ten opzichte van maaiveld. Vooral hogere winter- en voorjaarsstanden zijn belangrijk voor de vegetaties en soorten van rietlanden, moerassen, natte graslanden en slikkige oevers. Tijdens het groeiseizoen kunnen deze waterstanden dan langzaam uitzakken. Tijdelijke droogval kan beperkt optreden, in de nazomer en de herfst, langs de randen van de oude rivierlopen.
- Ook dit gebied profiteert via het grondwater van het ophogen van het zomerbed in de rivier zelf.
- Het systeem is gebaat bij periodieke doorstroming vanuit de Rijn ('flushing', doorspoelen) tijdens hoogwater in het winterhalfjaar en vroege voorjaar. Dit met het oog op vitalisering van het rietland (o.a. afvoeren strooisel) en andere vegetaties, extra vernatting (periodiek aanvullen van het grondwater) en aanvoer van flora en fauna (zaden, insecten via rivierwater).
- Rivierkundig liggen in dit deelgebied kansen voor ooibos omdat er door de binnendijkse ligging van het gebied geen opstuwende effecten in de rivier optreden.

Literatuur

- Barneveld, H. M. Boersema, F. Schuurman en H. de Vriend, 2022. Het Verhaal van het sediment
- Beers, van, P., 2017. Nieuw hardhoutooibos in de Gendtse Waard. In: Meerjarenoverzicht 2012-2016 Stichting Flora en Faunawerkgroep Gelderse Poort.
- Berendsen, H.J.A., & E. Stouthamer, 2001, Palaeogeographical development of the Rhine-Meuse delta, The Netherlands. Assen: Van Gorcum. 268 pp.
- Brinke, W. ten, 2004. De beteugelde rivier. Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch kanaal, Neder-Rijn-Lek en IJssel in vorm. Veen Magazines, Diemen. Deel 81 van de Wetenschappelijke bibliotheek van Natuurwetenschap & Techniek. ISBN 907698865x.
- Calle, P., B. Beekers, H. Wijnhoven & J. Schaffers, 2008. De Fauna van de Gelderse Poort Een overzicht van de interessante ontwikkelingen in de periode 2004-2007. Uitgave van de Stichting Flora- en Faunawerkgroep Gelderse Poort. Met financiële ondersteuning van de Provincie Gelderland, Staatsbosbeheer en ARK
- Cohen, K.M., E. Stouthamer, W.Z. Hoek, H.J.A. Berendsen & H.F.J. Kempen, 2009. Zand in Banen - Zanddieptekaarten van het Rivierengebied en het IJsseldal in de provincies Gelderland en Overijssel. Arnhem: Provincie Gelderland.
- Geest, G.J. van, 2005. Macrophyte succession in floodplain lakes: spatio-temporal patterns in relation to river hydrology, lake morphology and management. PhD Thesis Wageningen University. ISBN 9085041511.
- Geest, G.J. van, & S. Terlinckx, 2014. Invloed van peilfluctuaties op waterplanten in de hoofdstroom en permanent verbonden wateren langs de Rijn
- Helmer, W., 1999. Natuurlijke veiligheid: visie op de Rijntakken in het perspectief van stromende berging. Studie in opdracht van Staatsbosbeheer en Wereld Natuur Fonds, Arnhem.
- Heunks, E. & F. van Hemmen, 2006. Cultuurhistorisch vooronderzoek Plangebied Huissensche waarden. RAAP-rapport 1302.
- Jongmans, A.G., M.W. van den Berg, M.P.W. Sonneveld, G.J.W.C. Peek en R.M. van den Berg van saporoëa, 2013. Landschappen van nederland.
- Kleinans, M.G., F. Klijn, K.M. Cohen en H. Middelkoop, 2013. Wat wil de rivier zelf eigenlijk? Deltares, s.l. Rapport 1207829-000-VEB-0024 d.d. 16 april 2013.
- Kurstjens, G., P. Calle & B. Peters, 2004. Fauna in de Gelderse Poort en opzet voor een meetnet. Historische en recente verspreiding van bedreigde en beschermde zoogdieren, reptielen, dagvlinders, libellen, sprinkhanen en overige ongewervelden. Flora en Faunawerkgroep Gelderse Poort.
- Kurstjens, G. en B. Peters, 2012. Rijn in Beeld. Deel 1: Ecologische resultaten van 20 jaar natuurontwikkeling langs de Rijntakken. Kurstjens Ecologisch Adviesbureau, Beek-Ubbergen/ Bureau Drift, Berg en Dal.

Kurstjens, G., G. van Geest, B. Peters en T. Wijers, 2014. Ondiepe overstromingsvlaktes als missing link. In: De Levende Natuur, jaargang 115, nummer 3 (mei 2014). Themanummer Ecologisch herstel grote rivieren.

Kurstjens, 2015. Maatregelen watercondities t.b.v. herstel rietmoeras binnendijkse Natura 2000 gebieden in de Ooijpolder. Kurstjens Ecologisch Adviesbureau, Beek-Ubbergen.

Makaske, B., G.J. Maas, D.G. van Smeerdijk, 2008. The Age and Origin of the Gelderse IJssel.

Middelkoop, H., 1997. Embanked floodplains in the Netherlands. Geomorphological evolution over various time scales.

Middelkoop, H., E. Stouthamer, M.M. Schoor, H.P. Wolfert en G.J. Maas, 2003. Kansrijkdom voor rivierecotopen vanuit historisch-geomorfologisch perspectief. Rijntakken – Maas – Benedenrivieren. NCR-publication 21-2003.

Niemeijer, I., B. Beekers, G. Kurstjens, P. van Beers, P. Calle, M. Louwen, K. Lotterman, M. Bolten, E. Brouwer, N. Dam & M. van Bergen. De Flora van de Gelderse Poort; Trends van indicatieve soorten tussen 1970 en 2008 en actuele ontwikkelingen van beschermde en bedreigde soorten (vanaf 2004). Stichting Flora- en Faunawerkgroep Gelderse Poort.

Peters, B., W. Overmars, G. Kurstjens en J. Rademakers, 2014. Van Plan Ooievaar tot Smart Rivers. 25 jaar ecologisch herstel van het riviereengebied tegen veranderende achtergronden. In: De Levende Natuur, jaargang 115, nummer 3 (mei 2014). Themanummer Ecologisch herstel grote rivieren.

Peters, B., G. Kurstjens & T. Teunissen, 2004. De Flora van de Gelderse Poort; een inventarisatie en aanzet tot toekomstige monitoring. Flora en Faunawerkgroep Gelderse Poort, m.m.v. de Provincie Gelderland, VROM, Stichting Ark en Staatsbosbeheer.

Peters, B., G. Kurstjens & T. Teunissen, 2004. Herstel van de (stroomdal)flora in de Gelderse Poort'. De Levende Natuur 105/6, pp. 237-244.

Peters, B., G. Geerling & E. Kater, 2006. Handboek Cyclisch Beheer. Publicatie in opdracht van de Radbouduniversiteit Nijmegen, Rijkswaterstaat, Staatsbosbeheer en Ark. RUN, Nijmegen.

Peters, B. & G. Kurstjens, 2012. Actief Zand. Het herstel van oeverwallen en stroomdalflora langs de Rijntakken. Project Rijn in Beeld. Bureau Drift/Kurstjens Ecologisch Adviesbureau, Berg en Dal/Beek-Ubbergen.

Peters, B. & G. Kurstjens, 2020. Empelse Waard /Oude Schans, Gebiedsrapportage 2018. Programma Maas in Beeld. www.maasinbeeld.nl.

Peters, 2020. Maatregelen Cyclisch Beheer Gelderse Poort. Inrichtingsplannen voor cyclische verjonging in de Gelderse Poort, onderdeel van het programma 'Dynamisch Uiterwaardenbeheer'. In opdracht van Ark-Natuurontwikkeling, Staatsbosbeheer en het Wereld NatuurFonds. Bureau Drift, Nijmegen.

Peters, B. m.m.v. R. Bijlsma & G. Maas, 2021. Ooibossen, Van 'Ooievaar' tot 'Stroomlijn', en verder. Uitgave van OBN/VBNE, Zeist.

Reeze, A.J.G., A.D. Buijse en W.M. Liefveld, 2005. Weet wat er leeft langs Rijn en Maas. Ecologische toestand van de grote rivieren in Europees perspectief. Rijkswaterstaat, Lelystad. RIZA-rapport 2005.010.

Schoor, M.M., M. Greijdanus, G.W. Geerling, L.A.H. van Kouwen en R. Postma, 2011. Een nevengeul vol leven, handreiking voor een goed ecologisch ontwerp. Rijkswaterstaat. 2011.

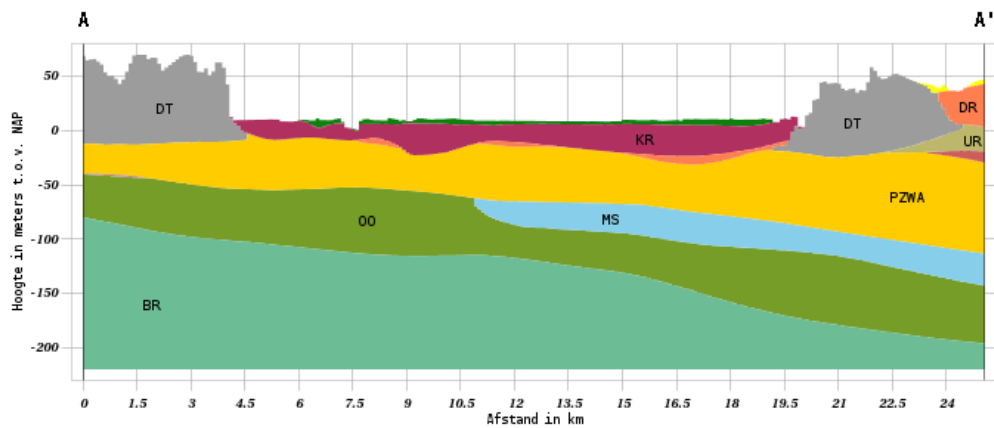
Splunder, I. van, 1997. Ooibos: wilgen en populieren langs rivieren. Brochurerapport Rijkswaterstaat RIZA, rapport 97.029.

Wolf, R.J.A.M., A.H.F. Stortelder, R.W. de Waal, K.W. van Dort, S.M. Hennekens, P.W.F.M. Hommel, J.H.J. Schaminée & J.G. Vrieling, 2001. Ooibossen. Boscosecosystemen van Nederland 2. KNNV-Uitgeverij, Utrecht.

Bijlagen

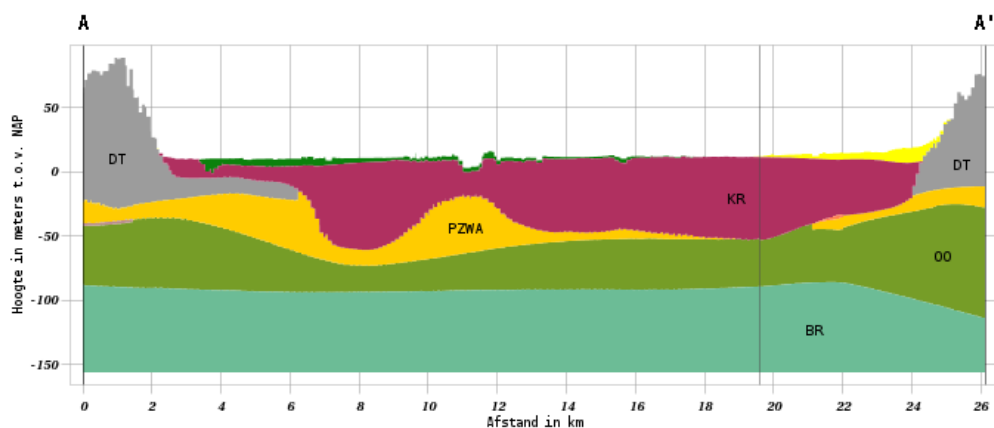
Bijlage 1: Geologische opbouw

Verticale Doorsnede BRO DGM v2.2



Figuur bijl. 2.1. Doorsnede van Nijmegen (Links) door de Gelderse Poort naar de Veluwe bij Arnhem. De pleistocene rivierafzettingen van de laatste 2,5 miljoen jaar zijn in wijnrood en okergeel aangegeven en in grijs, waar het stuwwallen betreft. Daaronder liggen tertiare afzettingen (groen en blauw). Boven op de pleistocene afzettingen ligt in groen een dunne laag holocene rivierafzettingen uit de laatste 11.700 jaar. In volgende doorsnedes is ook een gele afzetting weergegeven. Dat zijn door de wind in de laatste ijstijd afgezette zanden (bron: BRO-DGW)²⁶.

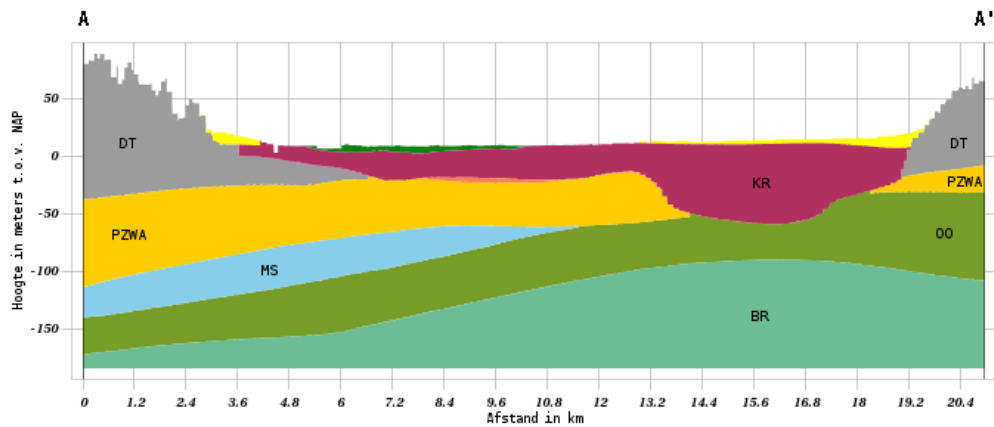
Verticale Doorsnede BRO DGM v2.2



Figuur bijl. 2.2. Doorsnede van Nijmegen (Links) door de Gelderse Poort naar Montferland. De geologische eenheden zijn toegelicht in de bovenste figuur.

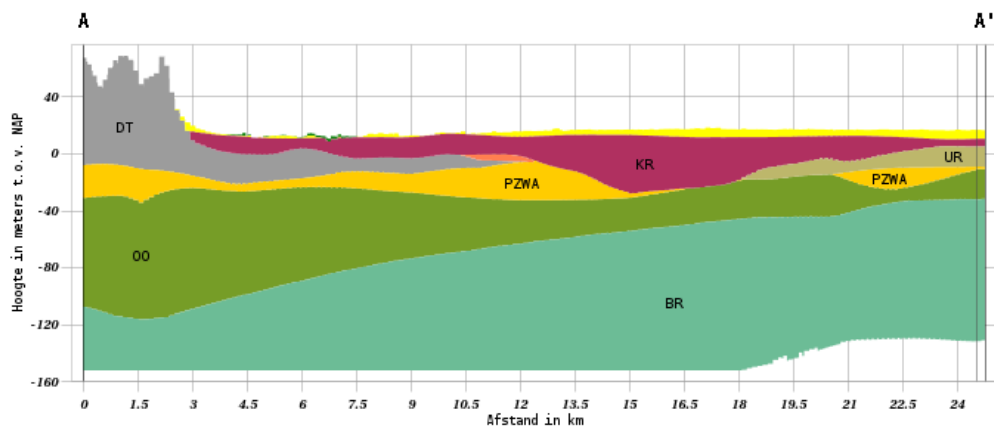
²⁶ <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>

Verticale Doorsnede BRO DGM v2.2



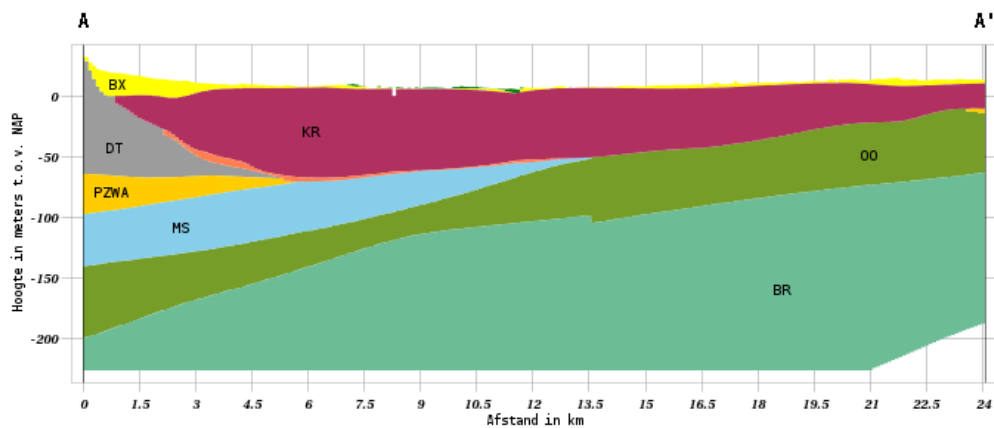
Figuur bijl. 2.3. Doorsnede van Montferland (links) in westelijke richting via het huidige IJsseldal naar de Veluwe bij Velp. De geologische eenheden zijn toegelicht in de bovenste figuur.

Verticale Doorsnede BRO DGM v2.2



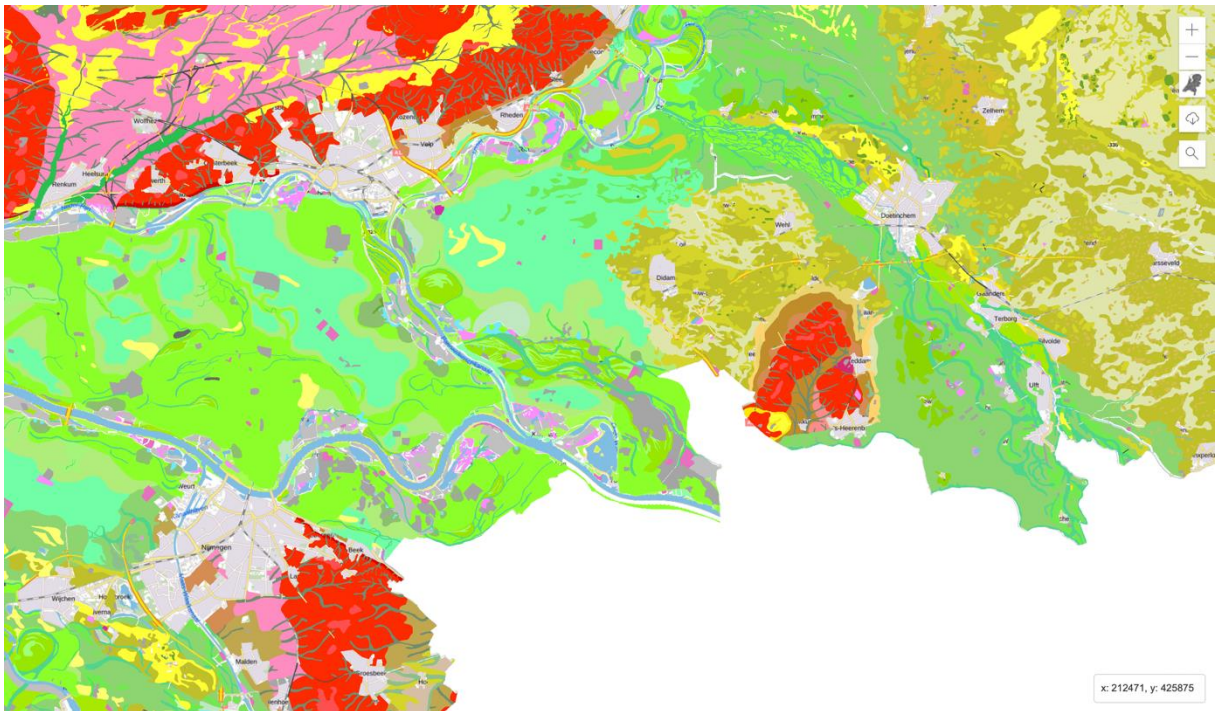
Figuur bijl. 2.4. Doorsnede van Montferland (links in noordoostelijk richting door het historisch Rijndal (nu Oude IJssel) tot nabij Ruurlo. De geologische eenheden zijn toegelicht in de bovenste figuur.

Verticale Doorsnede BRO DGM v2.2



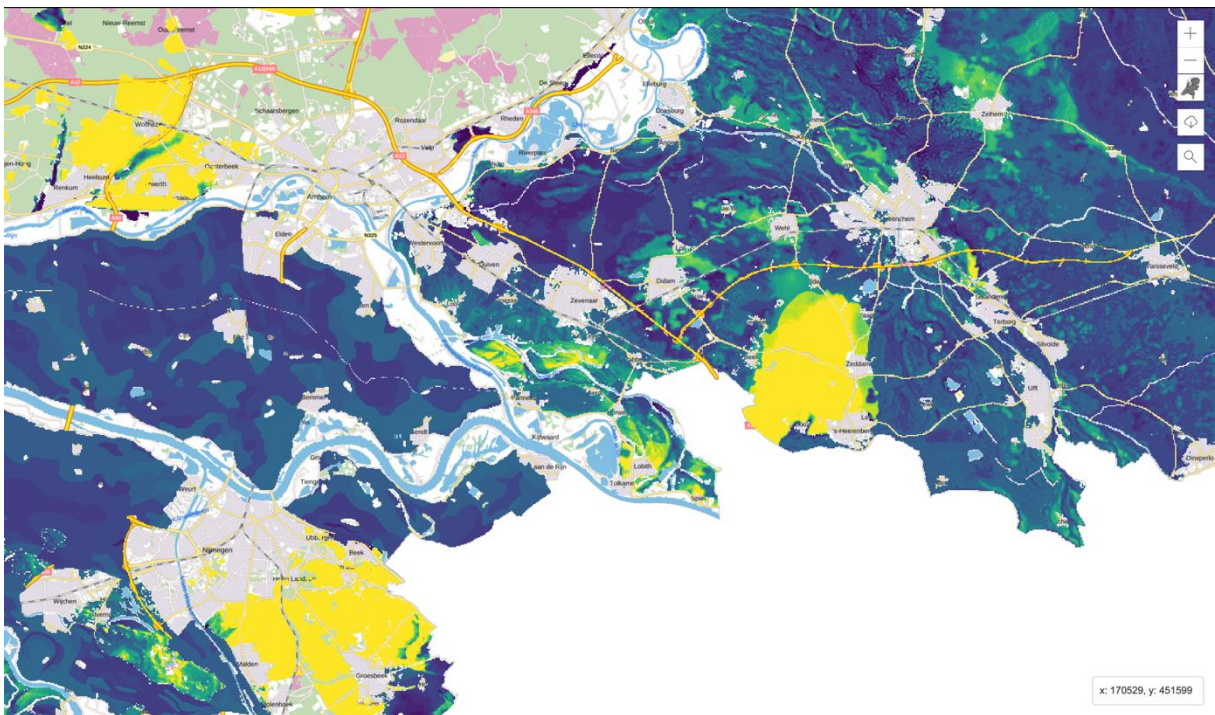
Figuur bijl. 2.5. Doorsnede door het huidige IJsseldal vanaf de Veluwe (links) ter hoogte van De Steeg van west naar oost tot nabij Doetinchem. De geologische eenheden zijn toegelicht in de bovenste figuur.

Bijlage 2: Geomorfologie

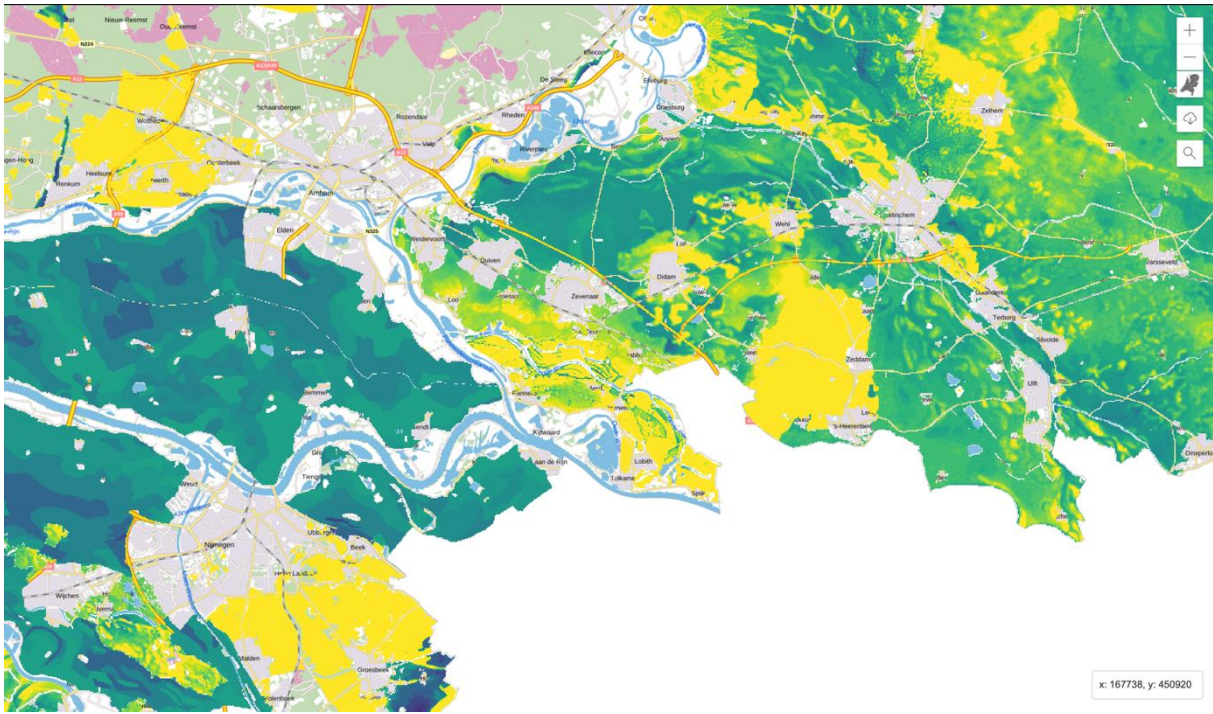


Geomorfologische kaart

Bijlage 3: Grondwater (stijghoogten, standen en stroming)



Grondwater hoogste stand



Grondwater laagste stand

Informatie WRIJ, 2015

Rijnstrangen/ Oude Rijn

Het gebied van de Rijnstrangen is vlak, dit is terug te zien in de grondwaterstroming. Bij hoog water vindt er periodieke kwel op langs de rivieren en aan de randen van de grote plassen in het uiterwaardengebied. Bij lage rivierwaterstanden is er sprake van wegzijging.

Door de aanwezigheid van rivieroeverwallen en rivierafzettingen is er een behoorlijke drooglegging in het gebied van de Rijnstrangen. Grondwatertrappen 6 tot 7 komen het meest voor in het gebied. Voor het hele gebied geldt dat de grondwaterstand in de zomer ver uitzakt (>120 cm-mv). In de winter varieert de grondwaterstand van <40 cm tot 140 cm –mv. De rivierpeilen bepalen grotendeels de grondwaterstanden, mede omdat de rivieren de deklaag doorsnijden.

Liemers en Bevermeer

De globale grondwaterstroming in het Duivense en Zevenaarse Broek is van zuid naar noord in de richting van de IJssel. In de Bevermeer stroomt het grondwater van het Montferland in noordwestelijke richting naar de IJssel. Door de geringe hoogteverschillen is de afname van de grondwaterstand geleidelijk. In de noordelijke komgronden is meer kwel. Dichter bij de IJssel wordt het grondwater ook beïnvloed door kwel van het Veluwemassief. In geval van hoge of lage rivierwaterstanden treedt er tevens kwel van rivierwater of wegzijging naar de IJssel op, dit is seizoensafhankelijk.

De afname van de grondwaterstand volgt de hoogteverschillen in het landschap (zie kaart 7.2).

In de lagere komgronden komen grondwatertrappen 3 en 4 veel voor. Voor het hele gebied geldt dat de grondwaterstand in de zomer uitzakt. Bij de hogere delen van het gebied is dit meer dan voor de lage delen. De lagere delen hebben in de winter te maken met een ondiepe grondwaterstand (<40 cm-mv).

Veluwe

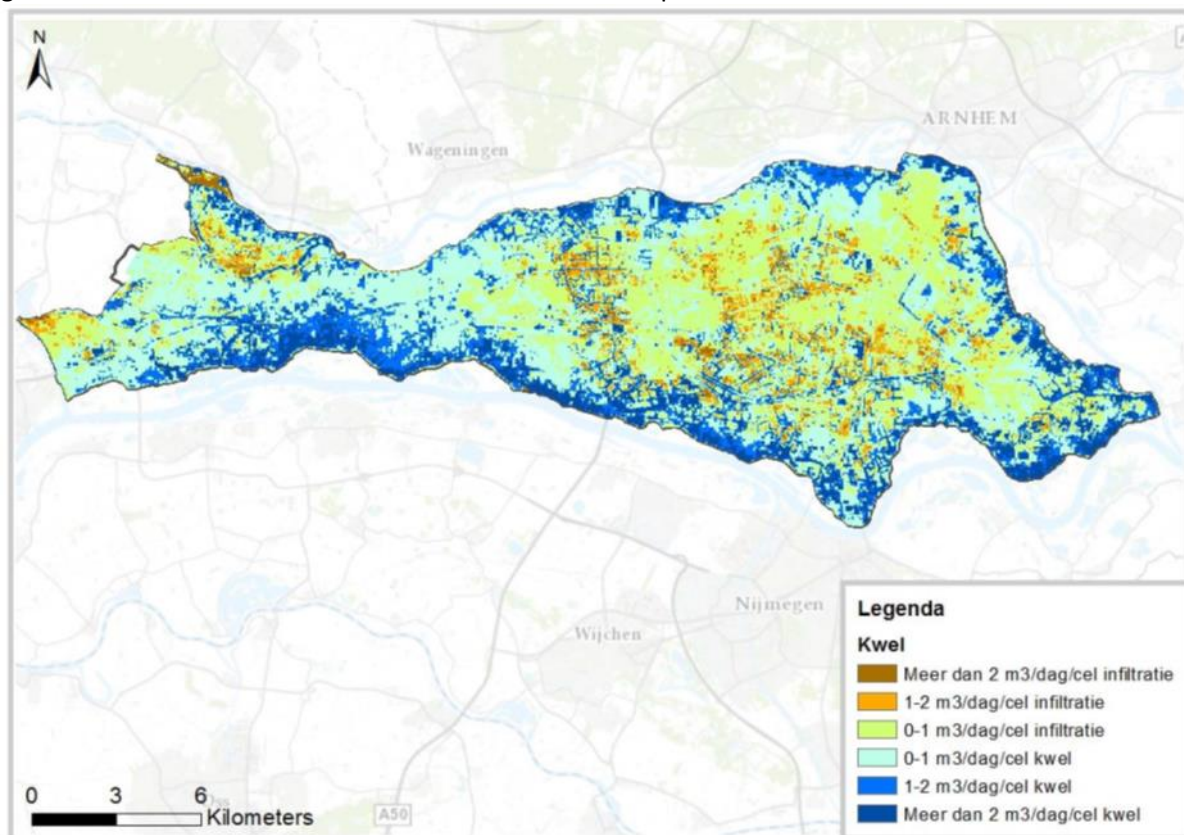
In het gebied vindt sterke grondwaterstroming plaats vanaf de stuwwal richting de grote rivieren. Het grondwater wordt voornamelijk gevoed door water dat is geïnfiltreerd op de Veluwe. Aan de voet van de stuwwallen van de Veluwe is sprake van kwel. In de lager gelegen polders is er sprake van lokale wegzijging en kwel. In geval van hoge rivierwaterstanden treedt er tijdelijk kwel op vanuit de rivieren. Bij lage rivierwaterstanden is er sprake van wegzijging.

Opvallend zijn de relatief natte omstandigheden in de lage delen Arnhem en Velp. In de wijken Presikhaaf en 't Broek en op industrieterrein 'Het Broek' komt, door de lage ligging en de aanwezigheid van kwelgevoelige ondergronden, nogal eens grondwateroverlast voor.

Oost-Betuwe/ Linge

Folmer et al., 2015

Het grondwatersysteem staat onder sterke invloed van de omliggende rivieren. In figuur 2.8 is de kwel en infiltratiekaart weergegeven voor een situatie met een hoge waterstand op de rivieren (7 januari 2003; hoogwater gebeurtenis met een herhalingstijd van T10). Hier is te zien dat aan de randen van het gebied, aangrenzend aan de rivieren sterke kwel optreedt. In het midden van het gebied wordt de kwelflux minder sterk en is soms ook sprake van infiltratie.



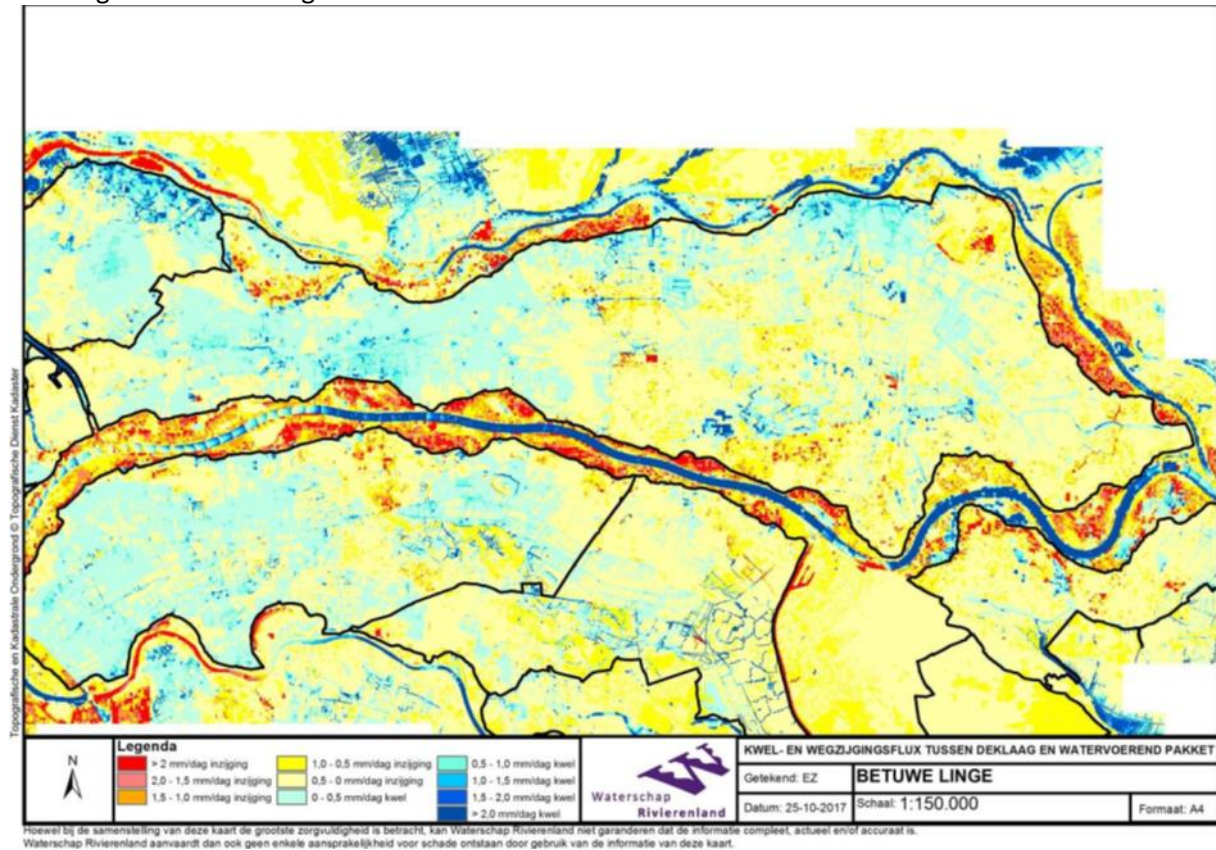
Berekende kwel en infiltratie Betuwe Linge tijdens een hoogwater gebeurtenis (T=10). Bron: Folmer et al., 2015.

De ligging van de zandbanen is zeer bepalend voor de hydrologie van het gebied, vooral in de gebieden waar de zandbanen vlak onder de toplaag liggen. Hier geldt dat als de sloten insnijden tot in de zandbaan, de sloot sterk draineert bij lage rivierwaterstanden en veel kwel afvoert bij hoge rivierwaterstanden.

Boon et al., 2018a

Afhankelijk van de rivierwaterstanden (met name de Waal fluctueert veel) en de grondwaterstand kan er het hele jaar door afwisselend kwel en wegzijging optreden. In het oostelijk deel vindt

voornamelijk wegzijging plaats (0-1 mm/dag). In Figuur 2.4 is de kwelsituatie weergegeven voor het stroomgebied. Het is de gemiddelde kwelsituatie onder normale rivierwaterstanden.

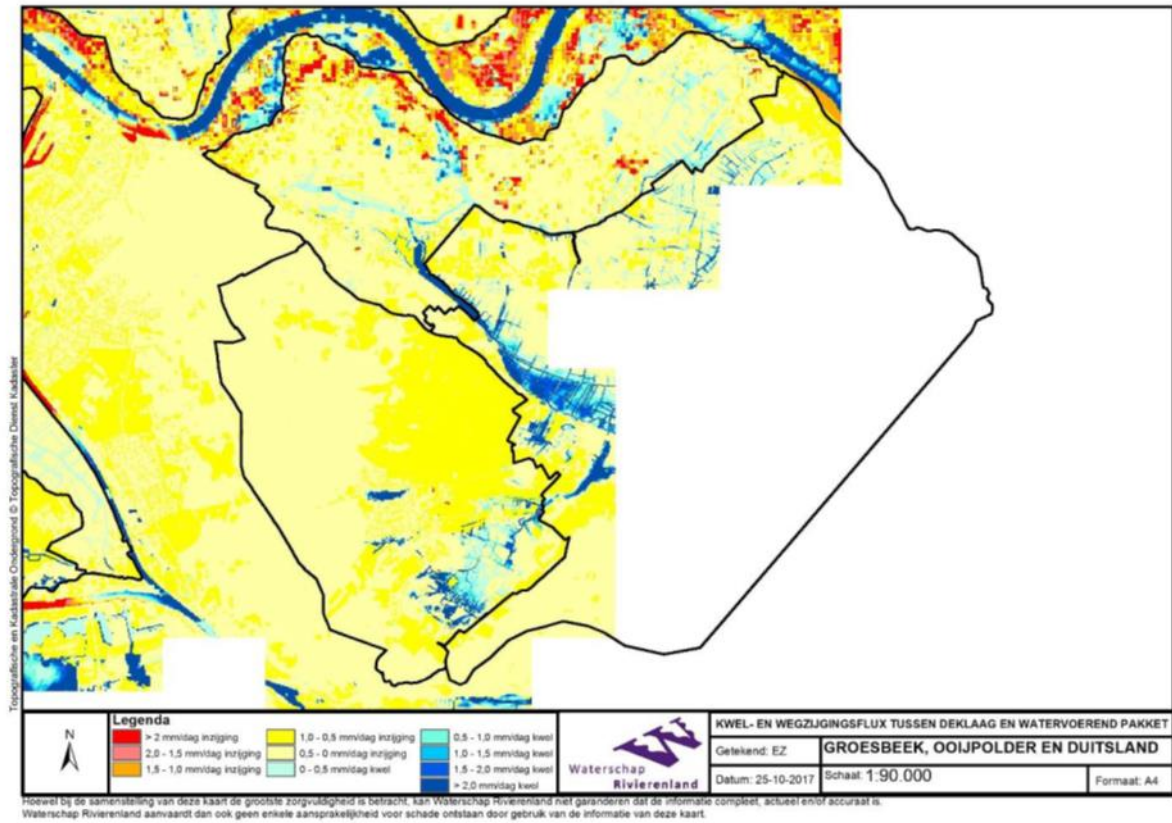


Gemiddelde kwelsituatie in de Betuwe Linge onder normale rivierwaterstanden. Bron: Boon et al., 2018a.

Ooijpolder

Boon et al., 2018b

In Figuur 2-6 de kwelsituatie weergegeven voor het stroomgebied. Het is de gemiddelde kwelsituatie onder normale rivierwaterstanden. In de Ooijpolder is overwegend sprake van inzijging.



Gemiddelde kwelsituatie in de Ooijpolder en beken Groesbeek onder normale rivierwaterstanden.
Bron: Boon et al., 2018b.

Bijlage 4: Oppervlaktewater

Binnendijkse afwatering

Rijnstrangen (Lenssen et al., 2013)

Rijnstrangen = Oude Rijn en zijwatergangen

De Rijnstrangen, met de Oude Rijn als belangrijkste loop, vormden vroeger de verbinding tussen Rijn en Neder-Rijn en IJssel. Door de aanleg van het Pannerdensch Kanaal in 1709 en de aanleg van de Spijkse Overlaat (1745) ontstond een nevengeul die alleen benedenstrooms in verbinding stond met de rivier en slechts bij extreem hoge rivierwaterstanden volledig meestroomde. De hydrologische situatie veranderde drastisch toen de Spijkse Overlaat in 1959 volledig werd afgesloten en toen in 1968 bij Kandia een gemaal werd geplaatst. Hierdoor veranderde het gebied van een hoog dynamische nevengeul naar een moeras met gedempte dynamiek.

Met gemaal Kandia kan het peil in de Rijnstrangen worden beheerst binnen een minimum en maximum streefpeil. Het peil kan soms onder het minimum uitzakken in droge perioden. In perioden met hoge afvoeren op het Pannerdensch kanaal stroomt het water nog steeds het gebied in. Wanneer het rivierpeil boven het maximum streefpeil (10,70 m+ NAP) uitstijgt, gaat een schuif dicht en wordt het surplus aan water op het Pannerdensch Kanaal bemalen.

In de Rijnstrangen is nog sprake van een natuurlijk peilverloop met een meter verschil tussen het lagere zomerpeil en het hogere winterpeil. Er is sprake van een bodemverhang van oost naar west. Hierdoor vallen oevers in het oosten eerder droog dan in het westen. In het westen is er daarnaast ophoging met slib plaats, aangevoerd door de rivier tijdens hoogwaters.

In 1998 is het minimumpeil verhoogd van 8,75 naar 9,75 m +NAP om droogval en verruiging tegen te gaan. In 2005 is het voorjaarspeil (15 maart-15 juli) verhoogd van 9,75 naar 10 m +NAP.

WRIJ, 2016

De Rijnstrangen is het belangrijkste gebied voor riet- en moerasvogels in de Gelderse Poort, zoals de roerdomp, de grote karekiet, de snor, de bruine kiekendief en het woudaapje. Riet is gebaat bij een fluctuerend peil. De wortels moeten incidenteel droog staan om te kunnen uitbreiden.

Met ingang van 30 januari 2016 mag het waterpeil in een deel van de Oude Rijn eens in de vier jaar (in de schrikkeljaren) tussen 15 juli en 1 oktober uitzakken. Door de minimum waterstand in de Oude Rijn te verhogen, wordt verruiging en/of verbossing van het riet tegengegaan.

WRIJ, 2015

Het beheersgebied Liemers Veluwe ligt in het zuidwesten van het waterschap en wordt gekenmerkt doordat er geen duidelijke hoofdwatgangen zijn. Het watersysteem bestaat uit meerdere watgangen die afzonderlijk van elkaar uitmonden in het Pannerdensch kanaal of de IJssel. Bij extreem hoog of laag rivierpeil staan grote delen van het gebied via kwel en wegzijging onder invloed van de rivieren.

Bij hoge waterstanden op de grote rivieren worden er diverse gemalen ingezet om het water te lozen op de grote rivieren.

Rijnstrangen/ Oude Rijn

Het stroomgebied van de Oude Rijn ligt deels in Nederland en deels in Duitsland. Het Rijnstrangengebied vormt het westelijke deel van het stroomgebied van de Oude Rijn. Vanuit Duitsland wordt water via het stroomgebied van het Grenskanaal-Netterdensch Kanal naar de Oude Rijn afgevoerd.

In het Rijnstrangengebied wordt er water via diverse poldergemaaltjes geloosd op de Oude Rijn, de hoofdloop van het Rijnstrangengebied. De Oude Rijn stroomt bij gemaal Kandia uit in het Pannerdensch kanaal.

In droge periodes kan er bij Netterden water worden ingelaten vanuit Duitsland.

Het gebied van Rijnstangen bestaat uit verschillende peilgebieden. Onder normale omstandigheden kan de Oude Rijn onder vrij verval lozen op het Pannerdensch Kanaal. Bij een peil hoger dan 10.70/10.40 m+NAP (winter/ zomer) op het Pannerdensch Kanaal wordt de Oude Rijn afgesloten en treedt gemaal Kandia in werking. Gemaal Kandia heeft een bemalingsgebied van ongeveer 10806 ha, waaronder het Duitse deel en het gebied bij 's-Heerenberg.

Het binnendijkse gebied bestaat uit vier peilgebieden. Het waterpeil in deze gebieden wordt door middel van diverse stuwen en gemaaltjes geregeld. In de zomersituatie vallen sommige waterlopen in het gebied droog.

Liemers en Bevermeer

De Liemers en de Bevermeer liggen tussen het Pannerdensch kanaal, de IJssel en de Oude Rijn. De Liemers-Bevermeer maakte onderdeel uit van het rivierenlandschap. Kenmerkend voor het landschap zijn de kommen met zware compacte klei en de hogere oeverwallen.

Uitwatering van het bedijkte gebied ging via gegraven afvoerkanalen. Bij hoge rivierwaterstanden kon er niet onder vrij verval op de rivieren geloosd worden. Om de waterstanden binnen het gebied beter te kunnen regelen werden er polders aangelegd met een netwerk van watergangen en peilregulerende kunstwerken, waaronder stoomgemaal Liemers (1884). De ontginning van de komgronden is in het landschap herkenbaar aan de vele evenwijdige sloten.

Het huidige watersysteem in de Liemers – Bevermeer is grotendeels in jaren '60 en '70 tot stand gekomen. In 1965 is Gemaal Bevermeer ontwikkeld om sluiting van de sluizen van het Polderdistrict van de Baarbroeksche Dijk en de Angerlosche Zomerdijken mogelijk te maken. In 1981 is het oude Gemaal Liemers vervangen voor een nieuw gemaal met dezelfde naam.

In de Liemers en de Bevermeer wordt het water via een maasstructuur afgevoerd of verdeeld over het stroomgebied.

De Liemers heeft alle kenmerken van een poldergebied, zij het dat het grootste deel van het jaar vrije afstroming op de IJssel plaatsvindt. Het is een stelsel van lange rechte waterlopen in een maasstructuur. De hoofdwaterlopen zorgen voor de ontwatering van het gebied, vooral in de lager gelegen komgronden in de Liemers komt een dicht netwerk van slootjes voor. De afwatering in het gebied loopt grofweg van zuid naar noord; van de hoger gelegen oeverwal en stuwwal richting gemaal Liemers. Dit gebeurt doorgaans onder vrij verval en via genormaliseerde watergangen. Bij hoge rivierwaterstanden worden de gemalen gebruikt om het water uit het gebied te pompen.

De afwatering in de Bevermeer loopt grofweg in noordelijke richting: van de hoger gelegen stuwwal via de de Didamse Wetering, Didamse Leigraaf en de Wehlse Beek en de Hoge Leiding richting gemaal Bevermeer. Hier komt al het water uit de Bevermeer samen. De afvoer gebeurt doorgaans onder vrij verval. Bij hoge rivierwaterstanden wordt gemaal Bevermeer ingezet.

Veluwe

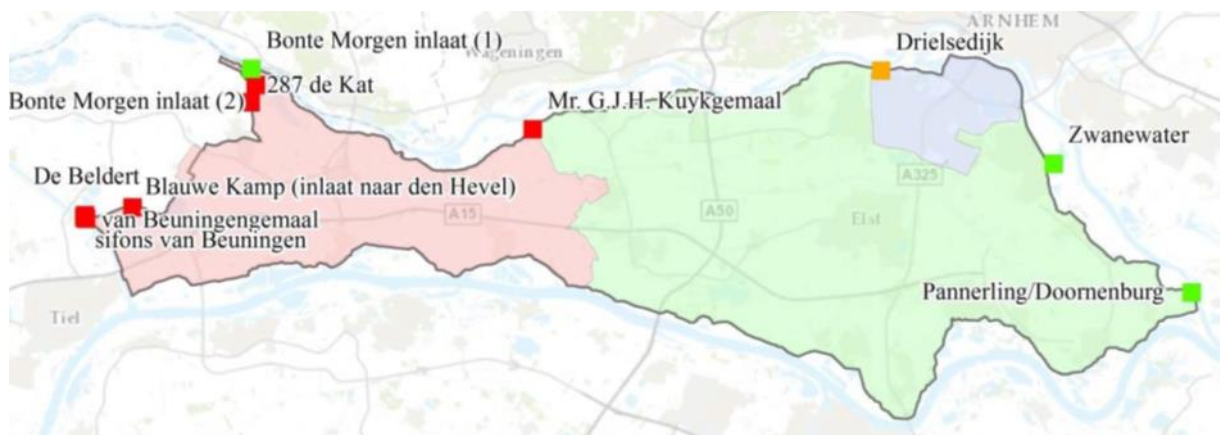
In de lagere delen van Arnhem en Velp zorgde de combinatie van rivierkwel en hevige regen ook in het verleden al tot wateroverlast. Om betere uitwatering van deze polders te realiseren werden in het verleden spuisluizen en (wind)bemaling aangelegd. In de 20e eeuw werden deze vervangen door gemalen.

Oost-Betuwe/ Linge

Folmer et al., 2015

Betuwe Linge heeft een watersysteem bestaande uit sloten en vaarten. In natte perioden wordt water afgevoerd en in droge perioden aangevoerd. Beide gebeurt hoofdzakelijk onder vrij verval. Daarbij loopt het gebied in hoogte af van oost naar west.

De inlaat van water vormt een zeer belangrijk onderdeel van het waterbeheer in het gebied. Deze inlaat is nodig voor de peilbeheersing, voor de aanvoer van beregeningswater en water voor de vorstschadebestrijding in de fruitteelt. Tijdens droge perioden kan water worden ingelaten vanuit het Pannerdensch Kanaal (Pannerling/ Doornenburg) en vanuit de diepe grondwaterplas Zwanewater.



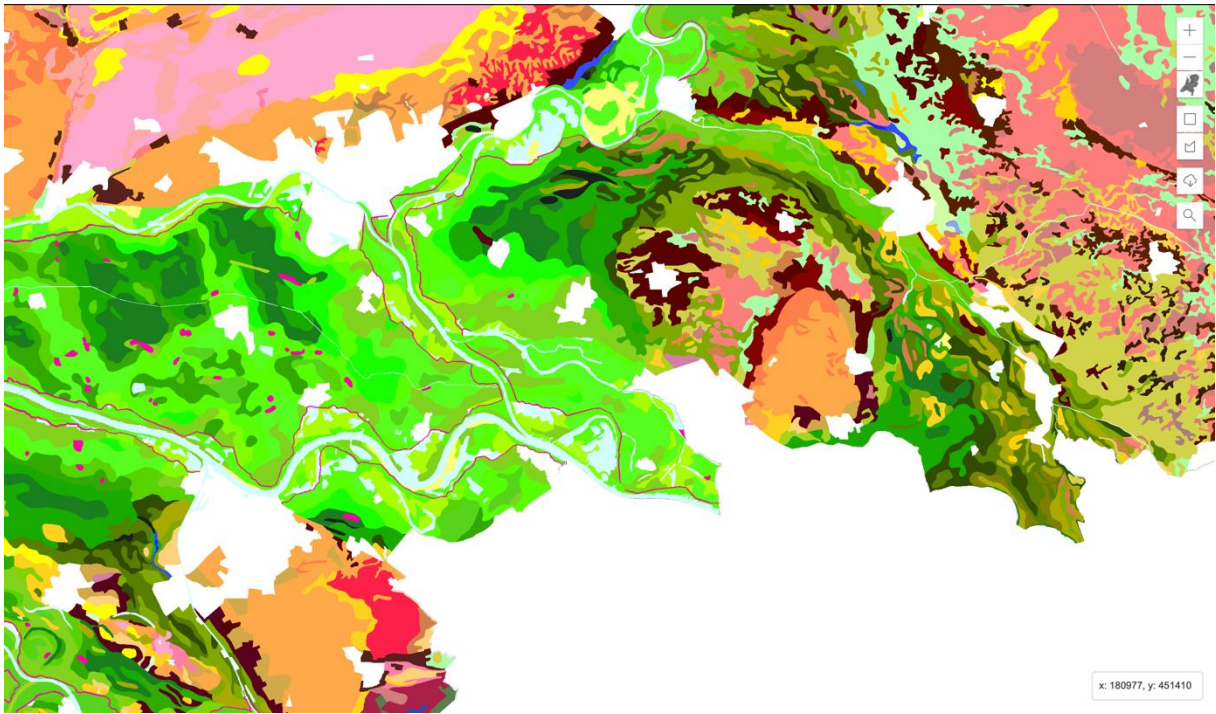
Oppervlaktewatersysteem Betuwe Linge

Ooijpolder

Folmer et al., 2016.

De afwateringsrichting in de Ooijpolder is overwegend van oost naar west. De polderwatergangen monden uiteindelijk allemaal uit in Het Meertje. Deze brede watergang loost haar water in het uiterste westen van het gebied via het Hollands-Duitsch gemaal op de Waal. Vanaf de stuwwal stromen diverse beken naar Het Meertje. Het gebied heeft geen inlaatwater vanuit de grote rivieren. Wel wordt op twee locaties water ingelaten vanuit het achterliggende gebied in Duitsland (Bossewässerung en Wylmermeer). De waterinlaten zijn zeer bepalend voor de waterkwaliteit van Het Meertje. Omdat er geen water kan worden ingelaten vanuit de grote rivieren, valt een deel van de watergangen in de zomer regelmatig droog.

Bijlage 5: Bodem



Bodemkaart