

## Methode, effecten en houdbaarheid van de OLA/OLR

KBN-HVWN Klimaatbestendige Netwerken - Hoofdvaarwegennetwerk



**Methode, effecten en houdbaarheid van de OLA/OLR**  
KBN-HVWN Klimaatbestendige Netwerken - Hoofdvaarwegennetwerk

**Auteur(s)**

Rolien van der Mark

**Methode, effecten en houdbaarheid van de OLA/OLR**  
KBN-HVWN Klimaatbestendige Netwerken - Hoofdvaarwegennetwerk

<b>Opdrachtgever</b>	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
<b>Contactpersoon</b>	mevrouw N. Dasburg-Tromp
<b>Referenties</b>	
<b>Trefwoorden</b>	OLA, OLR, CCR, TEN-T, scheepvaart, vaardiepte, vaarwegbreedte, Waal, Boven-Rijn, vaargeulonderhoud

**Documentgegevens**

<b>Versie</b>	0.3
<b>Datum</b>	21-11-2022
<b>Projectnummer</b>	11208077-005
<b>Document ID</b>	11208077-005-GEO-0003
<b>Pagina's</b>	33
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

**Auteur(s)**

	Rolien van der Mark	

# Samenvatting

De Nederlandse Rijntakken worden middels vaargeulonderhoud op diepte gehouden voor de scheepvaart. Hierbij dient Nederland zich te houden aan internationale afspraken, vastgelegd in a) de TEN-T verordening en b) de protocollen van de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR). De te onderhouden vaardiepte en vaarbreedte zijn vastgesteld ten opzichte van een internationaal overeengekomen referentieniveau, de zogenaamde Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR); dit is de waterstand behorend bij de Overeengekomen Lage Afvoer (OLA).

Iedere 10 jaar worden de OLA en OLR opnieuw vastgesteld. Bij het actualiseren van de OLA 2022 is men uitgekomen op een afvoer gelijk aan de vorige OLA 2012 van 1020 m<sup>3</sup>/s. Eerdere studies, en de wetenschap dat het klimaat verandert, roepen de vraag op hoe de OLA zich op termijn ontwikkelt en of Nederland dan nog kan voldoen aan de internationale afspraken ten aanzien van de vaarwegafmetingen.

Dit document gaat in op de houdbaarheid van de OLA-methodiek, d.w.z. haalbaarheid van de te onderhouden vaarwegafmetingen bij toekomstige OLA/OLR, en dan met name vanuit het perspectief van het vaargeulonderhoud in de rivier. Het document dient vooral voor bewustwording en als mogelijk discussiestuk.

Bij een veranderend klimaat (gematigd of warm) zal de Overeengekomen Lage Afvoer (OLA) in de toekomst, volgens in KBN niet eerder gebruikte, transient afvoerreksen bij Lobith ongeveer gelijk blijven / licht toenemen ten opzichte van de huidige OLA (gematigd scenario) of afnemen tot ordegrrootte 970 m<sup>3</sup>/s in 2050 en 850 m<sup>3</sup>/s in 2085 (warm scenario). Deze OLA-waarden voor het warme scenario zijn hoger dan in eerdere studies is gerapporteerd. Dit komt doordat in die studies niet de methodiek is toegepast, die in de CCR is afgesproken.

Een lagere OLA leidt tot lagere OLR en daarmee tot een grotere onderhoudsinspanning om aan de gegarandeerde vaargeulafmetingen te blijven voldoen.

Doordat de OLA slechts iedere 10 jaar wordt vastgesteld, representeert de vastgestelde OLA bij snelle klimaatverandering niet meer het beeld van een paar jaren later. Vanuit onderhoudsperspectief is dat gunstig, maar voor de scheepvaart is dit nadelig: de gegarandeerde minimale diepte is niet aanwezig, aangezien wordt onderhouden ten opzichte van een achterhaalde OLA.

Puur beschouwd vanuit de huidige waterdiepte die nu aanwezig is in de vaargeul, wordt geconcludeerd dat op de alluviale trajecten van de Boven-Rijn, de Waal en het Pannerdensch Kanaal er nog voldoende "overdiepte" is om het gebaggerde sediment vanuit ondieptes in diepere delen terug te storten, dus om een afname in OLA op te vangen. De IJssel en Neder-Rijn tot Driel zijn kritieker. Het garanderen van de vaargeulafmetingen wordt hier lastig bij een afname van de OLA. Dit wordt nog versterkt als de verschuiving van de afvoerverdeling door bodemerrosie in de toekomst doorzet.

Hoewel er op de Boven-Rijn, de Waal en het Pannerdensch Kanaal nog voldoende marge op de waterdiepte is om de afgesproken vaargeulafmetingen te garanderen op de alluviale trajecten, plaatsen we de volgende aandachtspunten:

- Er zijn wel degelijk locaties waar de afgesproken minimale waterdiepte bij OLR in het geding komt of al is bij een toekomstige afname van de OLA. Het betreft niet-baggerlocaties (vanwege kabels, leidingen, tunnels), de vaste lagen en bodemkribben, en drempels en voorhavens bij sluisen.
- Er is niet goed in te schatten of de extra onderhoudsinspanning door de aannemer wel praktisch uitvoerbaar is. Op dit moment lijkt het soms al lastig om de alluviale bodem in de vaargeul altijd en overal onder het baggerreferentievlak te houden. Het is onduidelijk in hoeverre de operatie van de aannemer nu al tegen grenzen aanloopt. Ook toenemende hinder voor de doorgaande scheepvaart door toename in onderhoud is hierbij een aandachtspunt. Het is aan te bevelen hier gezamenlijk met de aannemer meer inzicht in te krijgen. Tot slot wordt aanbevolen om ook te bekijken wat de implicaties voor de aannemer zijn ten aanzien van praktische uitvoerbaarheid van een bredere vaargeul van 170 m op de Boven-Rijn en Waal.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Methodiek OLA/OLR</b>	<b>8</b>
2.1	Beschrijving huidige methodiek	8
2.2	Toekomstige OLA bij ongewijzigde methodiek	11
2.2.1	Overzicht toekomstige OLA uit eerdere literatuur	11
2.2.2	Nieuwe analyse toekomstige OLA bij ongewijzigde methodiek	12
2.3	Toekomstige houdbaarheid methodiek t.a.v. vaargeulonderhoud	16
<b>3</b>	<b>Discussie</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>Referenties</b>	<b>31</b>
<b>A</b>	<b>Overzicht OLA- en OLR-waarden sinds 2002</b>	<b>32</b>

# 1 Inleiding

De Nederlandse Rijntakken worden middels vaargeulonderhoud op diepte gehouden voor de scheepvaart. Hierbij dient Nederland zich te houden aan internationale afspraken, vastgelegd in a) de TEN-T<sup>1</sup> verordening 1315/2013<sup>2</sup> van het Europees Parlement en de Raad en in b) de protocollen van de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR). De te onderhouden vaardiepte en vaarbreedte zijn vastgesteld ten opzichte van een internationaal overeengekomen referentieniveau, de zogenaamde Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR); dit is de waterstand behorend bij de Overeengekomen Lage Afvoer (OLA). In hoofdstuk 2 worden deze begrippen verder toegelicht.

Iedere 10 jaar worden de OLA en OLR opnieuw vastgesteld. Bij het actualiseren van de OLA 2022 is men uitgekomen op een afvoer gelijk aan de vorige OLA 2012 van 1020 m<sup>3</sup>/s. Eerdere studies, en de wetenschap dat het klimaat verandert, roepen de vraag op hoe de OLA zich op termijn ontwikkelt en of Nederland dan nog kan voldoen aan de internationale afspraken ten aanzien van de vaarwegafmetingen.

Dit document gaat in op de houdbaarheid van de OLA-methodiek, d.w.z. haalbaarheid van de te onderhouden vaarwegafmetingen bij toekomstige OLA/OLR, en dan met name vanuit het perspectief van het vaargeulonderhoud in de rivier. Het document dient vooral voor bewustwording en als mogelijk discussiestuk. De rapportage heeft een Nederlandse focus, en richt zich op de riviertakken waarvoor de OLR wordt bepaald (Boven-Rijn en Waal tot Tiel, Pannerdensch Kanaal, Neder-Rijn – Lek tot Hagestein, IJssel). Hoe de methodiek is voor bepaling en vaststelling van de overeengekomen lage waterstand (OLW) in het benedenstroomse gebied waar getij een rol speelt, blijft buiten beschouwing.

De volgende onderwerpen komen aan bod:

- Beschrijving huidige methodiek voor afleiding van de OLA en OLR,
- Invloed van andere methodiek,
- Verwachte toekomstige ontwikkeling van de OLA en OLR,
- Invloed van bodemerrosie op de OLR,
- Mogelijkheden hoe om te gaan met afname van de OLA.

---

<sup>1</sup> TEN-T: Trans-Europese Transportnetwerken

<sup>2</sup> Verordening die momenteel van kracht is: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2013/1315/2019-03-06>

## 2 Methodiek OLA/OLR

### 2.1 Beschrijving huidige methodiek

Iedere tien jaar worden de Overeengekomen Lage Afvoer (OLA) en Overeengekomen Lage Rivierwaterstand (OLR) herzien. Derhalve is, ten behoeve van de vaststelling van de nieuwe 2022-waarden, in Rijkswaterstaat (2022) een beschrijving gegeven van de huidige methodiek en hoe de OLA en OLR 2022 voor de Nederlandse Rijntakken zijn bepaald. Tekst uit deze paragraaf is deels ontleend aan Rijkswaterstaat (2022).

Sinds 1816 worden in de Centrale Commissie voor de Rijnvaart (CCR) afspraken gemaakt over de scheepvaart op de Rijn, vanaf Bazel tot aan de Noordzee. Eén van de onderwerpen die in dit verband wordt vastgelegd, betreft de vaarwegafmetingen. Binnen de CCR is reeds lang geleden afgesproken dat vaarwegafmetingen dienen te worden vastgelegd ten opzichte van een vastgestelde waterstand: de Overeengekomen Lage Rivierwaterstand (OLR).

De Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR) is de waterstand die optreedt bij de Overeengekomen Lage Afvoer (OLA). De OLA is gedefinieerd als de afvoer die over een langjarige periode gemiddeld 20 dagen per jaar wordt onderschreden (CCR-protocol 2014-II-17). Voor Nederland wordt de OLA bepaald bij peilschaal Lobith. Met betrekking tot de langjarige periode: een periode van 100 jaar is door Nederland voor het eerst toegepast voor de bepaling van de OLA 2002. Ook in 2012 is na onderzoek en overleg een 100-jarige periode (1911-2011) aangehouden. In het CCR-protocol 2014-II-17 wordt de duur van 100 jaar genoemd als uitgangspunt bij de vastlegging van de OLR 2012, en ook voor OLR 2022 is dit weer gedaan. Het is echter onduidelijk hoe dit vanaf 2002 voor de Duitse peilstations gedaan is, aangezien er voor diverse Duitse pegels geen 100-jarige meetreeksen beschikbaar zijn. Zoals wij de informatie interpreteren is de “periode van 100 jaar” niet officieel vastgelegd in het protocol, maar is die periode als uitgangspunt genoemd en gehanteerd, in ieder geval voor de Nederlandse vaststelling.

De waterdiepte binnen de vaargeul dient bij OLR minimaal 2,80 m te zijn voor de Boven-Rijn, de Waal tot nabij Tiel (rkm 917), het Pannerdensch Kanaal, en de Neder-Rijn tot Driel (rkm 890)<sup>3</sup>. Om dit te realiseren, wordt de bodemligging van de rivier onderhouden via baggerwerkzaamheden zodanig dat de bodem altijd onder het baggerreferentievlak<sup>4</sup> (OLR minus de gegarandeerde waterdiepte) blijft. De IJssel behoort niet tot de aktewateren van de CCR, maar vanwege nationaal beleid en TEN-T afspraken gebruikt men binnen Nederland ook voor de IJssel de OLR-waarden ten behoeve van de vaarwegafmetingen. De minimale waterdiepte bij OLR bedraagt op de IJssel 2,50 m tot rkm 967 (nabij Wijhe), en neemt daarna geleidelijk toe tot 3,50 m.

---

<sup>3</sup> Na Tiel (Waal) en na Hagestein (Neder-Rijn – Lek) is er geen diepte t.o.v. OLR meer maar t.o.v. OLW. OLW staat voor Overeengekomen Lage Waterstand, en hierin is het getij meegenomen. De minimale dieptewaarde van 2,80 m neemt toe benedenstrooms van Tiel en Driel. Zie het Rivierkundig Beoordelingskader (Rijkswaterstaat, 2019).

<sup>4</sup> In deze rapportage wordt ervan uitgegaan dat het baggerreferentievlak (BRV) gelijk is aan OLR minus de gegarandeerde diepte. In werkelijkheid wijkt het BRV hier wat van af. Er is gebleken dat een tienjaarlijkse bijstelling van het OLR niet voldoet aan de nauwkeurigheidseisen van het baggerprogramma; daarom wordt jaarlijks een BRV opgesteld die de waterstandsontwikkeling op de Waal beter volgt (Rijkswaterstaat, 2002).



De OLA en OLR zijn over de tijd aan verandering onderhevig. Het afvoerregime kan wijzigen als gevolg van klimaatverandering. En als gevolg van bodemerrosie en (her)inrichtingsmaatregelen in het zomer- of winterbed kan de rivierwaterstand bij een gelijkblijvende afvoer veranderen. Daarom moeten de lidstaten 1 maal per 10 jaar de OLA en OLR controleren en opnieuw vaststellen bij de CCR.

Vanaf 2002 is de waarde van de OLA-afvoer vastgesteld op 1020 m<sup>3</sup>/s voor het Nederlandse meetstation Lobith. De nieuwe OLA en OLR 2022 -waarden worden in december 2022 door de CCR vastgesteld en zijn vervolgens per 1 januari 2023 officieel van kracht. De nieuwe waarden zijn in de CCR met Duitsland afgestemd.

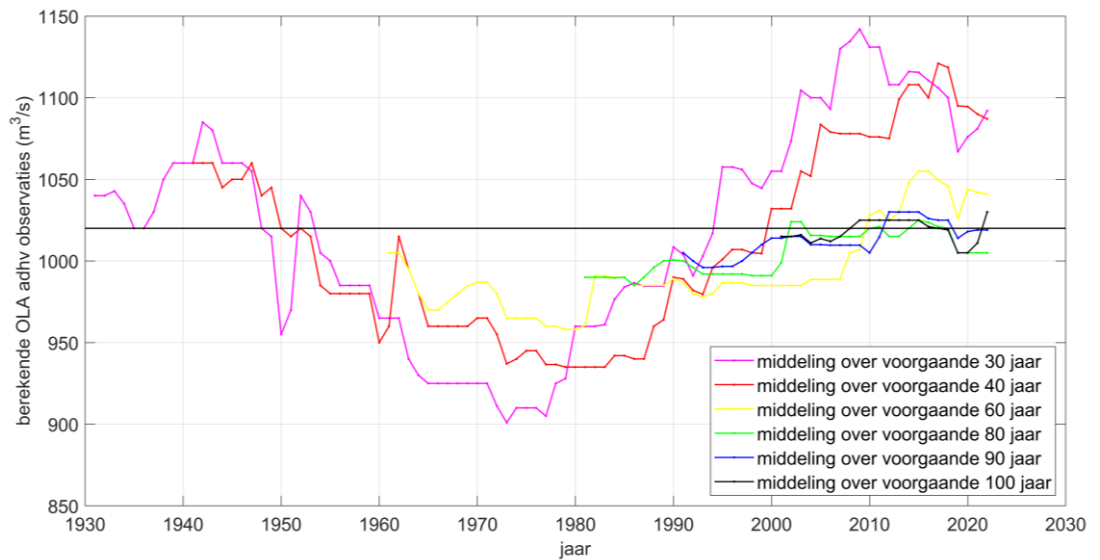
Voor de bepaling van de OLA 2022 is gebruik gemaakt van afvoerreksen over de periode 1 januari 1921 – 31 december 2020. Met behulp van een afvoer-waterstandsrelatie voor Lobith (de meest recente Qf18; Svašek, 2019) en betrekkinglijnen (Rura, 2019) op de andere meetpunten en rivierkilometers, is de OLR 2022 bepaald. De betrekkinglijnen zijn afgeleid van metingen (1 mei 2016 tot 14 december 2018) en geven de relatie tussen de waterstand bij Lobith en de andere meetpunten benedenstrooms in de rivier.

De op basis van historische afvoermeetreeksen berekende OLA wijkt iets af van de uiteindelijk gekozen en vastgestelde OLA (Tabel 1). In Rijkswaterstaat (2022) staat dat vanwege het kleine verschil ten opzichte van de eerdere waarden (1020 m<sup>3</sup>/s) van 2012 en 2022 is besloten, ook in afstemming met de Duitse partners, om de waarde van 1020 m<sup>3</sup>/s aan te houden. De OLR-waarden zijn wel periodiek aangepast (vanaf 1952 iedere 10 jaar); dit was noodzakelijk vanwege de erosie van de rivierbodem. Zie ook Bijlage A voor de OLA en OLR waarden sinds 2002, die in CCR-rapportages zijn vastgesteld.

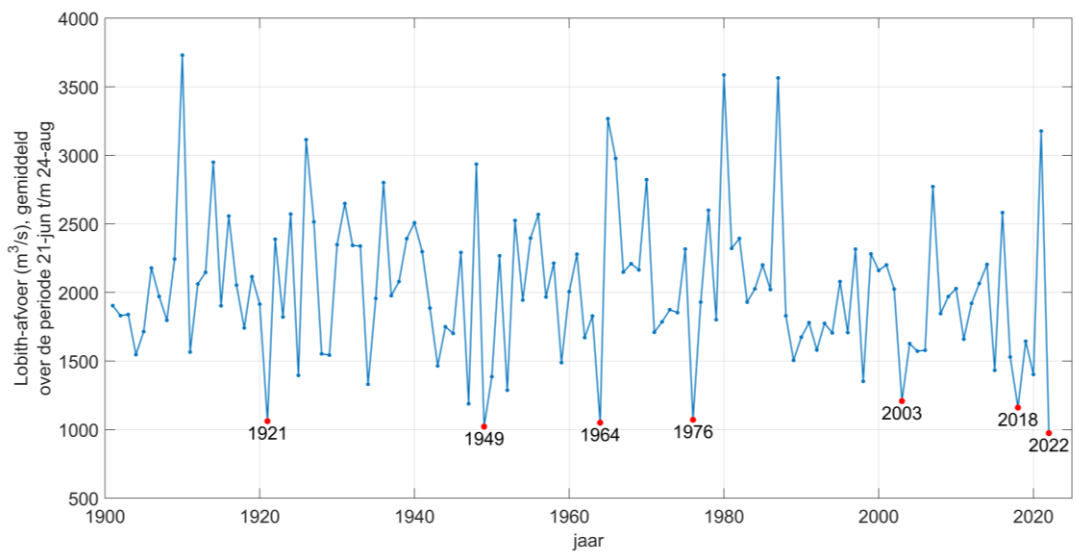
Figuur 1 toont de variatie in berekende OLA, zowel voor een middeling over een periode van 100 jaar, als over kortere periodes. De middelingsduur heeft redelijk veel effect op de berekende OLA, maar tussen de 80, 90 en 100 jaar zijn de verschillen beperkt. Oftewel, of nu 80 jaar of 100 jaar wordt gekozen, zou niet zo veel uit moeten maken. Als in de komende jaren door klimaatverandering erg lage afvoeren gaan voorkomen, leidt een middeling over een kortere periode (bijv. 30 jaar) ertoe dat de OLA zal afnemen ten opzichte van een periode van 100 jaar. Dit komt (nog) niet tot uiting in Figuur 1, aangezien er (nog) geen trend van frequenter laagwater in de zomer in recente jaren is terug te zien in de metingen (Figuur 2).

Tabel 1. Berekende en vastgestelde OLA-waarden.

	Berekende OLA	Vastgestelde OLA
1932 – 2001	984 m <sup>3</sup> /s	984 m <sup>3</sup> /s
2002 - 2012	1015 m <sup>3</sup> /s	1020 m <sup>3</sup> /s
2013 - 2022	1025 m <sup>3</sup> /s	1020 m <sup>3</sup> /s
2023 - 2032	1011 m <sup>3</sup> /s	1020 m <sup>3</sup> /s (nog niet definitief vastgesteld)



*Figuur 1 Berekende OLA aan de hand van historische gemeten afvoerreeks bij Lobith voor verschillende middeldingsduur. De huidige methodiek is dat wordt gemiddeld over de voorgaande 100 jaar (zwart). De lijnen starten bij verschillende jaren. Bijvoorbeeld de magenta lijn (30 jaar) start bij 1931 aangezien data over de voorgaande 30 jaar nodig is om de OLA te kunnen bepalen, en de datareeks start bij jaar 1901. De OLA van bijvoorbeeld 1931 is afgeleid over de 30 voorgaande jaren 1901 t/m 1930. CCR schrijft voor iedere 10 jaar de actualiseren, maar een OLA kan voor ieder jaar worden berekend.*

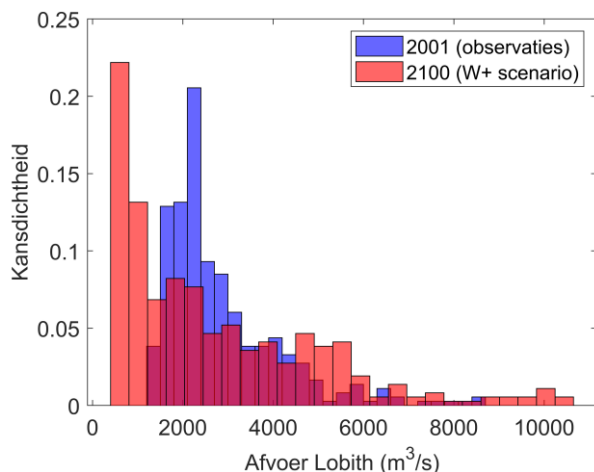


*Figuur 2 Tijdreeks van Lobith zomerafvoeren (gemiddelde over de periode 21 juni t/m 24 aug). Dit figuur is op 25 augustus gemaakt, vandaar dat de periode tot dan loopt. Als een andere periode wordt gekozen (niet alleen zomer bijvoorbeeld), wordt de figuur niet wezenlijk anders; dezelfde jaren springen eruit.*

## 2.2 Toekomstige OLA bij ongewijzigde methodiek

### 2.2.1 Overzicht toekomstige OLA uit eerdere literatuur

In eerdere rapportages is al geconstateerd dat de OLA in de toekomst kan gaan afnemen als gevolg van klimaatverandering. De afvoer die gemiddeld 20 dagen per jaar (ofwel 5,48% van de tijd, soms versimpeld tot 5%) wordt onderschreden, neemt af als het in de toekomst frequenter of langer laagwater is. Het KNMI Klimaatsignaal '21 stelt dat 's zomers de kans op laagwater in de rivieren toeneemt, terwijl in de winter juist de kans op hoogwater toeneemt (KNMI, 2021). Als de laagwaters en hoogwaters extremer worden, komt dat in een kansdichtheidsfunctie tot uiting in een bredere kansverdeling (Figuur 3).



Figuur 3 Kansverdeling voor Lobith afvoer voor twee willekeurige jaren 2001 (metingen) en 2100 (W+ scenario), om te illustreren dat in een droog scenario de afvoer extremer wordt, zowel voor laagwater als hoogwater. De balken zijn semi-transparant geplot (waardoor de paarse kleur ontstaat), zodat balkjes die eventueel wegvallen doordat de 2 scenario's over elkaar heen geplot worden toch zichtbaar zijn.

In Tabel 2 is een overzicht opgenomen van toekomstige OLA-waarden zoals die in eerdere studies zijn gerapporteerd. De onderlinge verschillen ontstaan doordat verschillende klimaatscenario's, afvoerreksen en onderschrijdingspercentages (5% of 5,48%) zijn gebruikt. In Sloff et al. (2011) is gebruikgemaakt van de KNMI-klimaatscenario's uit 2006 (G en W+), de andere bronnen gebruikten KNMI-scenario's uit 2014 (G<sub>L</sub>, G<sub>H</sub>, W<sub>L</sub>, W<sub>H,dry</sub>).

Tabel 2 Toekomstige OLA-waarden in m<sup>3</sup>/s, vermeld in eerdere studies, voor verschillende klimaatscenario's.

	Huidig	2050						2085 / 2100					
		Ref	G KNMI '06	W+ KNMI '06	G <sub>L</sub> KNMI '14	G <sub>H</sub> KNMI '14	W <sub>L</sub> KNMI '14	W <sub>H,dry</sub> KNMI '14	G KNMI '14	W+ KNMI '06	G <sub>L</sub> KNMI '06	G <sub>H</sub> KNMI '14	W <sub>L</sub> KNMI '14
Sloff et al. (2011)	1020	1047	825					1077	657				
Van der Mark (2019)	1020			1124	1067	1061	866			1123	1032	1059	791
De Jong (2019)	1020			1101			832			1101			751

De bronnen constateren alle drie dat bij het meest extreme klimaatscenario ( $W+$  en  $W_{H,dry}$ ; beiden  $2^{\circ}\text{C}$  opwarming en veranderd luchtstromingspatroon) de OLA-waarde rond 2050 ergens in de  $800\text{ m}^3/\text{s}$  zal zijn, en in 2085/2100 nog lager: tussen  $650$  en  $800\text{ m}^3/\text{s}$ . Echter, geen van de bronnen hanteert de methodiek van de CCR, omdat daarvoor geen geschikte afvoerreeksen voorhanden waren. De methodiek van de CCR schrijft voor dat afvoeren van de afgelopen jaren gebruikt worden; hiervoor zijn doorlopende (“transient”) reeksen, dus het afvoerloop over een lange periode, nodig. Bij de waarden in Tabel 2 wordt er van uitgegaan dat we ons al 100 jaar in een bepaald toekomstig klimaat, bijvoorbeeld  $W+$ , bevinden. In werkelijkheid bewegen we daar geleidelijk naar toe, en wegen de jaren dat we nog in een “huidig klimaat” zitten en de jaren dat we toe bewegen naar het nieuwe klimaat ook mee bij de bepaling van de OLA.

Dit betekent dat in studies<sup>5</sup> waarin gebruikgemaakt wordt van een toekomstige OLA en OLR om de toekomstige waterdiepte bij OLR te toetsen op de vastgestelde minimale diepte, de toekomstige OLA-waarde voor het droge scenario te laag wordt ingeschat (veronderstellende dat de CCR-methodiek niet wijzigt). Door uit te gaan van de 100-jarige reeksen van het Deltaprogramma Zoetwater, waarbij die 100 jaar zich volledig in een toekomstig klimaat bevindt, wordt een ultieme ondergrens van de OLA verkregen. Dit kan overigens een bewuste keuze zijn.

In de volgende paragraaf wordt aan de hand van transient reeksen een OLA-bepaling gedaan op basis van de huidige CCR-methodiek. Deze data zijn recent boven water gekomen, en mede daarom niet eerder in KBN gebruikt.

### 2.2.2 Nieuwe analyse toekomstige OLA bij ongewijzigde methodiek

In Haasnoot et al. (2015) worden transient afvoerreeksen voor Lobith gepresenteerd voor de KNMI 2006 klimaatscenario's G en  $W+$ . Deze scenario's zijn niet de meest recente, er zijn immers recentere scenario's uit 2014. Echter, de transient reeksen zijn alleen afgeleid en dus beschikbaar voor de klimaatscenario's van 2006 (en niet voor die van 2014), en dus worden die van 2006 hier beschouwd. Het KNMI schrijft over de verschillen tussen beide sets (2006 en 2014) dat de wetenschappelijke inzichten in het IPCC-rapport uit 2013, waarop KNMI'14 is gebaseerd, maar in beperkte mate verschillen van die in het vorige IPCC-rapport, waarop KNMI'06 is gebaseerd. Daarom lijken de algemene klimaatveranderingen in de KNMI'14-scenario's sterk op de algemene veranderingen in de KNMI'06-scenario's. De KNMI'06 scenario's zijn nog steeds mogelijke scenario's voor klimaatverandering in Nederland. Beide scenario-sets gaan uit van  $1$  en  $2^{\circ}\text{C}$  wereldwijde temperatuurstijging en onderscheiden verandering in luchtstromingspatronen. De transient afvoerreeksen, ondanks dat ze niet op de meest recente scenario's gebaseerd zijn, geven daarom alsnog goed inzicht in de toekomstige veranderingen.

Het KNMI brengt om de circa zeven jaar nieuwe klimaatscenario's uit. De volgende publicatie wordt oktober 2023 verwacht ([www.knmi.nl](http://www.knmi.nl)).

De dataset van Haasnoot et al. (2015) bestaat uit een drietal scenario's: referentie (geen klimaatverandering), het G scenario en het  $W+$  scenario voor de periode 2003 t/m 2100 (Figuur 4). Ieder scenario bestaat uit een ensemble van 20 reeksen. Alle 20 leden uit het ensemble zijn even plausibel.

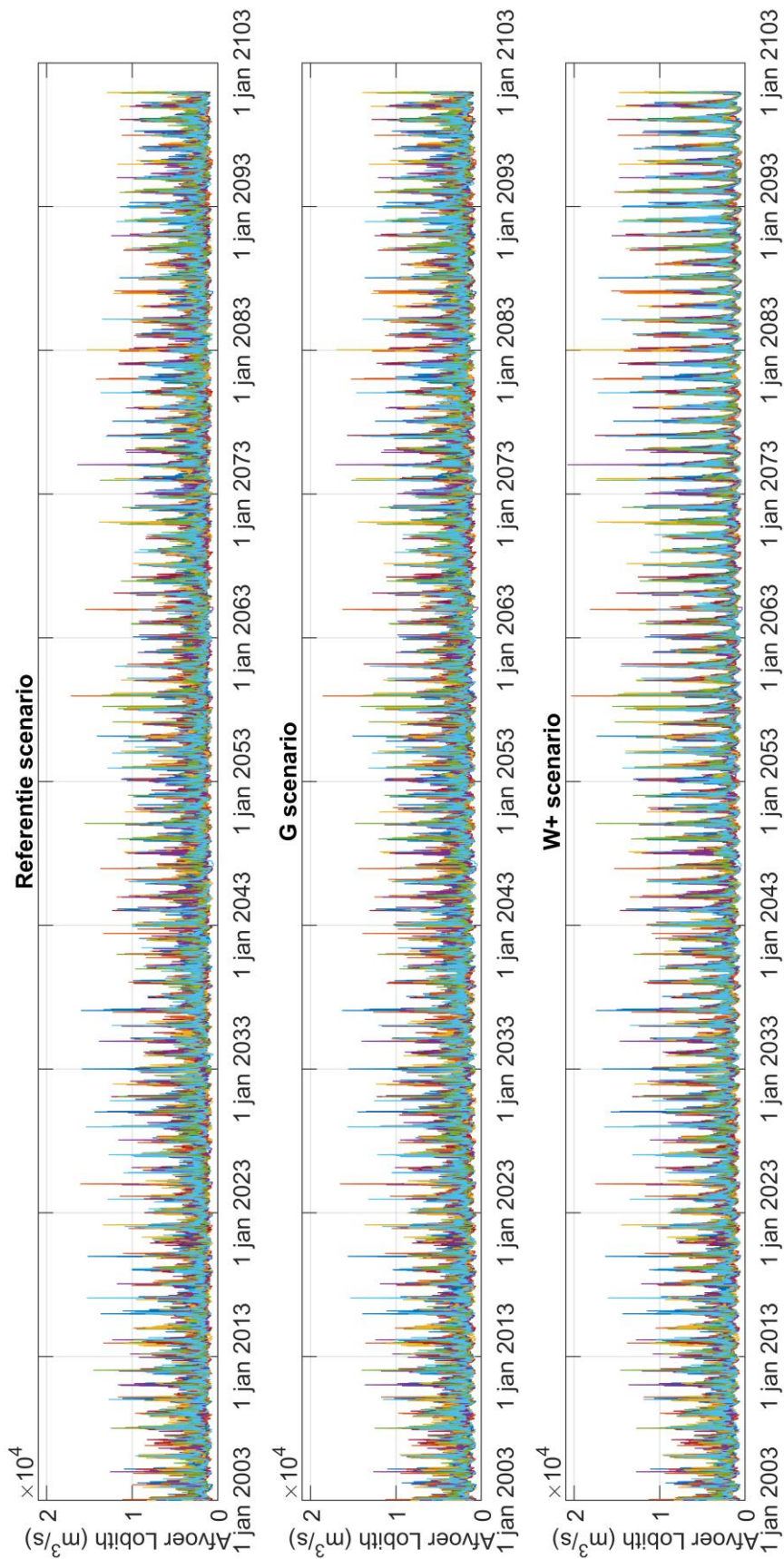
---

<sup>5</sup> Rapporten zijn er niet op nageslagen of en hoe toekomstige OLA/OLR wordt toegepast, maar denk aan de studies KBN Klimaatbestendige Netwerken, DPZW Deltaprogramma Zoetwater, en mogelijk IRM Integraal Riviermanagement en BRL Basisrivierbodemplugging.

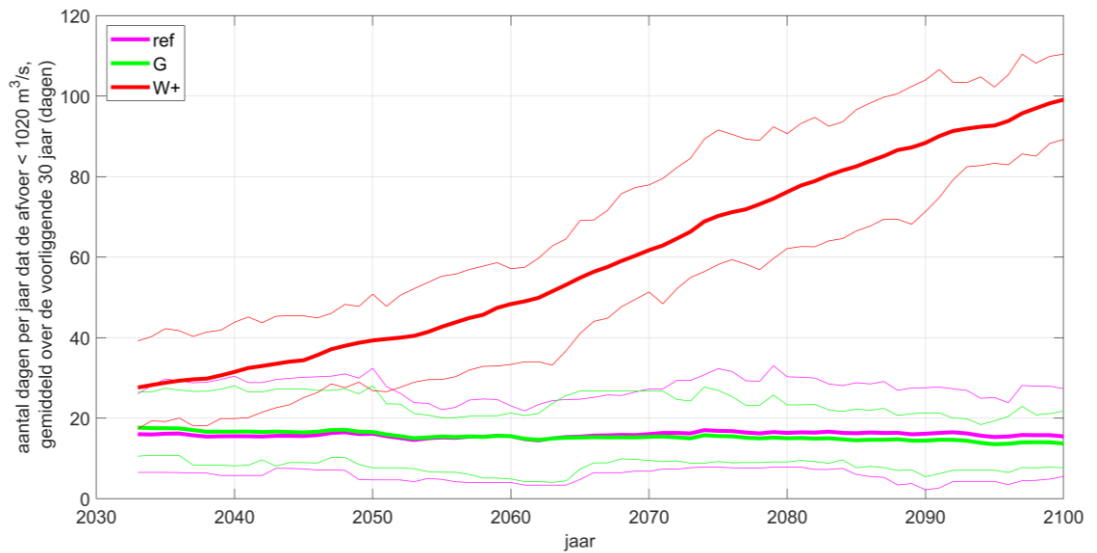
Aan de hand van deze reeksen kunnen analyses gedaan worden en toekomstige OLA-waarden bepaald worden. Figuur 5 toont het aantal dagen per jaar, gemiddeld over de voorgaande 30 jaren, dat de afvoer van 1020 m<sup>3</sup>/s bij Lobith wordt onderschreden voor de drie verschillende scenario's.

In Figuur 6 wordt de berekende OLA weergegeven voor de drie scenario's. De dataset in Haasnoot et al. (2015) begint bij 2003. De data zijn aangevuld met metingen vanaf 1901 en de berekende data van 2003 t/m 2021 zijn vervangen door de metingen. De grafiek start bij 2001 aangezien data over de voorgaande 100 jaar nodig is om de OLA te kunnen bepalen. De eerste jaren tot 2022 is volledig gebaseerd op historische metingen, zodat alle drie de scenario's identiek zijn en ook geen bandbreedte vertonen. Na 2022 groeit de bandbreedte en beginnen de scenario's uiteen te lopen. Voor het jaar 2030 bijvoorbeeld, worden 92 jaren aan gemeten data gebruikt en 8 jaren aan ensemble verwachtingen uit de scenario's. De OLA-waarden in de referentie (geen klimaatverandering) en het gematigde klimaat zijn ongeveer gelijk aan elkaar en schommelen tot 2050 rond de huidige 1020 m<sup>3</sup>/s. In het extremere W+ scenario daalt de OLA zoals verwacht en ligt in 2050 rond de 970 m<sup>3</sup>/s en in 2085 rond de 850 m<sup>3</sup>/s. Dit is hoger dan eerder in de literatuur werd gerapporteerd, en wel vanwege het geleidelijke verloop richting een veranderd klimaat en er wordt een stuk historische data meegenomen uit het huidige klimaat.

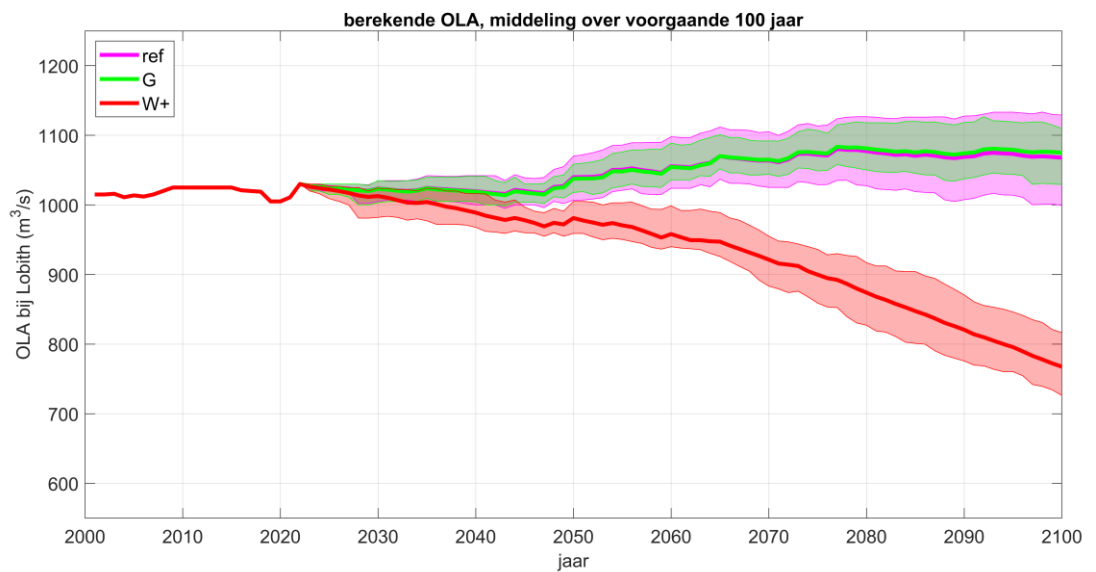
Figuur 7 toont de berekende OLA, maar dan wordt bij ieder jaar gebruik gemaakt van de afvoerdata over de voorgaande 30 jaren in plaats van 100 jaren. Volgens verwachting daalt de OLA bij het W+ scenario in dat geval sneller dan bij gebruik van 100 jaar; de OLA ligt in 2050 rond de 900 m<sup>3</sup>/s. De bandbreedte is groter, wat komt door de grotere variatie zoals dit ook tot uiting kwam in Figuur 1 voor de historische meetgegevens. Een langere periode geeft een stabiel beeld.



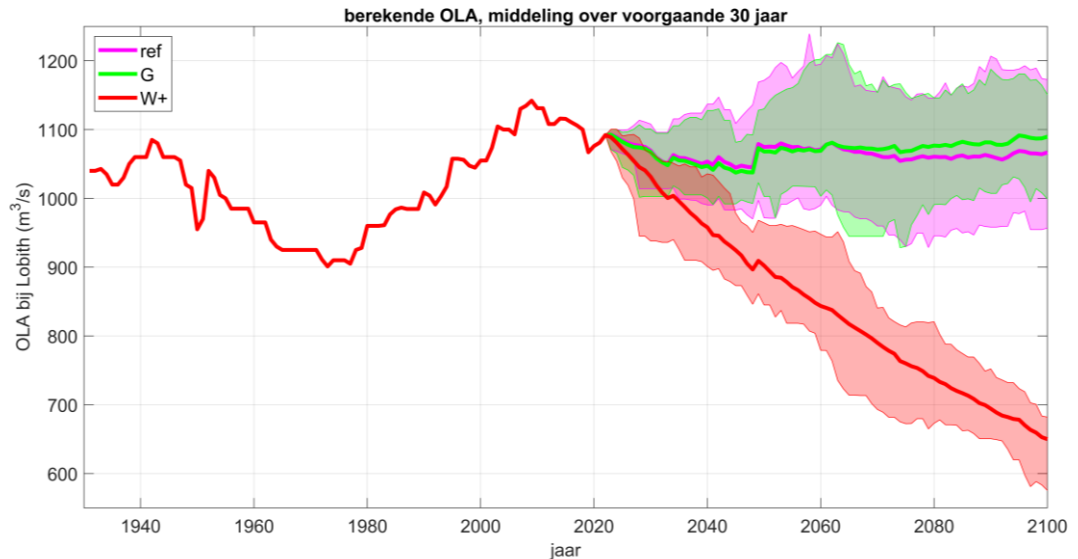
Figuur 4 Transient afvoerreeksen voor drie scenario's: referentie, G en W+. Niet goed zichtbaar worden per scenario 20 reeksen in verschillende kleuren geplott, die slechts licht van elkaar verschillen. Door de oogharen zien we de hoge afvoeren in de tijd geleidelijk toenemen en de lage afvoeren afnemen in het W+ scenario.



*Figuur 5 Aantal dagen per jaar dat de afvoer minder is dan 1020 m<sup>3</sup>/s bij Lobith, gemiddeld over de voorgaande 30 jaren. De dikke lijn geeft het gemiddelde over de 20 ensembles weer, de dunne lijnen de bandbreedte. De grafiek start bij 2033 aangezien data over de voorgaande 30 jaar nodig is om dit te kunnen bepalen, en de reeksen starten bij jaar 2003 (het aantal dagen bij jaar 2033 is afgeleid over de 30 voorgaande jaren 2003 t/m 2032).*



*Figuur 6 Berekende toekomstige OLA conform CCR-methodiek, waarbij de OLA is bepaald over data van de voorgaande 100 jaar (gemiddelde en bandbreedte over de 20 ensembles).*



Figuur 7 Berekende toekomstige OLA, waarbij de OLA is bepaald over data van de voorgaande 30 jaar (gemiddelde en bandbreedte over de 20 ensembles).

## 2.3 Toekomstige houdbaarheid methodiek t.a.v. vaargeulonderhoud

In hoeverre de huidige methodiek nog houdbaar is voor Rijkswaterstaat in de toekomst wordt onder andere bepaald door het benodigde vaargeulonderhoud. Onder “houdbaarheid ten aanzien van vaargeulonderhoud” verstaan we in deze rapportage of het nog mogelijk is de gegarandeerde vaarwegafmetingen te onderhouden bij toekomstige OLA/OLR door middel van baggerwerkzaamheden.

Om aan de CCR-afspraken te voldoen, is een zogenaamd baggerreferentievlak opgesteld. Het baggerreferentievlak is gedefinieerd als OLR minus de gegarandeerde diepte. Daar waar de bodem binnen de vaargeul boven dit baggerreferentievlak komt, dient gebaggerd te worden (uitgezonderd niet-baggerlocaties) om de vaargeulen op de vereiste diepte te houden. Het beleid is dat het gebaggerde sediment elders, waar het voldoende diep is, teruggestort wordt in de rivier; vanwege het tegengaan van bodemerosie mag geen sediment meer aan de rivier worden onttrokken. Momenteel voert RWS-ON continu baggeronderhoudswerkzaamheden uit om belemmerende ondieptes voor de scheepvaart weg te baggeren (zie bijv. Rijkswaterstaat, 2021).

Op dit moment is de situatie zo dat er nog voldoende ruimte is op de Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal en IJssel om gebaggerd sediment elders in de nabijheid in de rivier terug te storten, waarmee de gegarandeerde diepte bij OLR gerealiseerd wordt. Dit betekent overigens niet dat in de dagelijkse praktijk de bodemligging altijd en overal onder het baggerreferentievlak (OLR minus gegarandeerde diepte) zal liggen. Lokaal ontstaan er door de morfodynamiek ondieptes bij bochten, vaste lagen, en door rivierduintoppen. De aannemer baggert vaak reactief, dat wil zeggen als wordt geconstateerd na surveying dat de bodem lokaal te hoog ligt, wordt dit direct weggehaald. Ook kan bij zeer hoge afvoer niet altijd gebaggerd worden, omdat de hopper dan niet tot de bodem kan reiken.



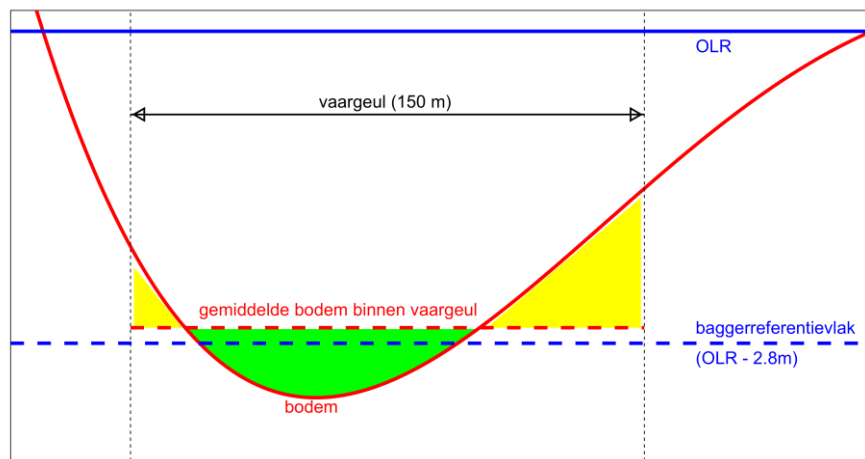
De vraag is wanneer het baggerwerk zo omvangrijk wordt, dat het niet meer houdbaar of uitvoerbaar is, als de OLA en daarmee de OLR verder afneemt. Meerdere aspecten en criteria spelen hierbij een rol:

- Er is geen ruimte meer in de rivier om het gebaggerde sediment terug te storten.
- De baggervloot is ontoereikend om de ondieptes weg te baggeren.
- De uitstoot van de baggervloot is niet meer acceptabel (hybridisering, elektrificering is niet van vandaag op morgen gerealiseerd).
- De hinder voor het doorgaande scheepvaartverkeer wordt onacceptabel, doordat een grote baggervloot / baggerinspanning nodig is voor het onderhoud.
- De aanzanding is zo snel weer terug na baggerwerkzaamheden, dat baggerschepen dit praktisch operationeel niet kunnen bijhouden.
- Kosten voor baggerwerkzaamheden worden te hoog.

Deze aspecten zijn lastig door middel van een criterium te kwantificeren ten behoeve van een inschatting op houdbaarheid. Voor het eerstgenoemde aspect is het wel mogelijk om een snelle eerste inschatting te maken qua (on)houdbaarheid. Als criterium wordt gehanteerd dat in een dwarsprofiel het baggerreferentievlak hoger moet zijn dan de gemiddelde bodem in de vaargeul, zo kunnen de vaargeulafmetingen gegarandeerd worden (baggerreferentievlak > gemiddelde bodem in vaargeul; ofwel baggerreferentievlak minus vaargeulgemiddelde bodem moet groter zijn dan 0). Zodra het baggerreferentievlak (OLR – 2,80 m voor Boven-Rijn – Waal) onder de gemiddelde bodemligging in de vaargeul komt, is het op diepte houden van de vaargeul niet meer mogelijk. Op dat moment moet er sediment gewonnen worden (niet teruggestort) om de diepte te garanderen. Bij dit criterium wordt er van uitgegaan dat het sediment van de ondieptes die boven het baggerreferentievlak uitsteken (geel in Figuur 8), gestort wordt in de diepe delen die onder het baggerreferentievlak liggen (groen in Figuur 8). In feite komt dit neer op het “gladstrijken” van de bodem door de aannemer.

Dit (theoretische) criterium is een ultiem knikpunt, in werkelijkheid zal de situatie al wel eerder onhoudbaar zijn:

- De rivier zal altijd terug bewegen naar de natuurlijke toestand met ondiepere binnenbochten en diepere buitenbochten, en in de praktijk zal het daarom onmogelijk zijn om continu en overal de bodem “gladgestreken” te houden. Een vergelijkbaar criterium met een zekere marge is een optie (baggerreferentievlak > gemiddelde bodem in vaargeul + marge).
- Daarnaast bevinden zich in de rivier niet-baggerlocaties, waar al eerder de situatie kan ontstaan dat de vaargeulafmetingen niet gegarandeerd kunnen worden, als deze locaties niet kunnen worden aangepast.
- Tot slot kunnen de praktische uitvoerbaarheid en overige aspecten uit bovenstaande lijst (uitvoerbaarheid operatie, ontoereikende vloot of materieel, teveel hinder, te hoge kosten, te veel uitstoot) al eerder een onrealiseerbare situatie creëren.



*Figuur 8 Schematische weergave van dwarsdoorsnede met ondieptes die dienen te worden weggebaggerd binnen de vaargeul. Als het baggerreferentievlak gelijk is aan de gemiddelde bodemligging, is er net voldoende ruimte in het dwarsprofiel om het gebaggerde materiaal terug te storten (geel oppervlak is gelijk aan groen). Als het baggerreferentievlak onder de gemiddelde bodemligging komt, is er onvoldoende ruimte om terug te storten (niet ingetekend, geel oppervlak wordt groter dan groen).*

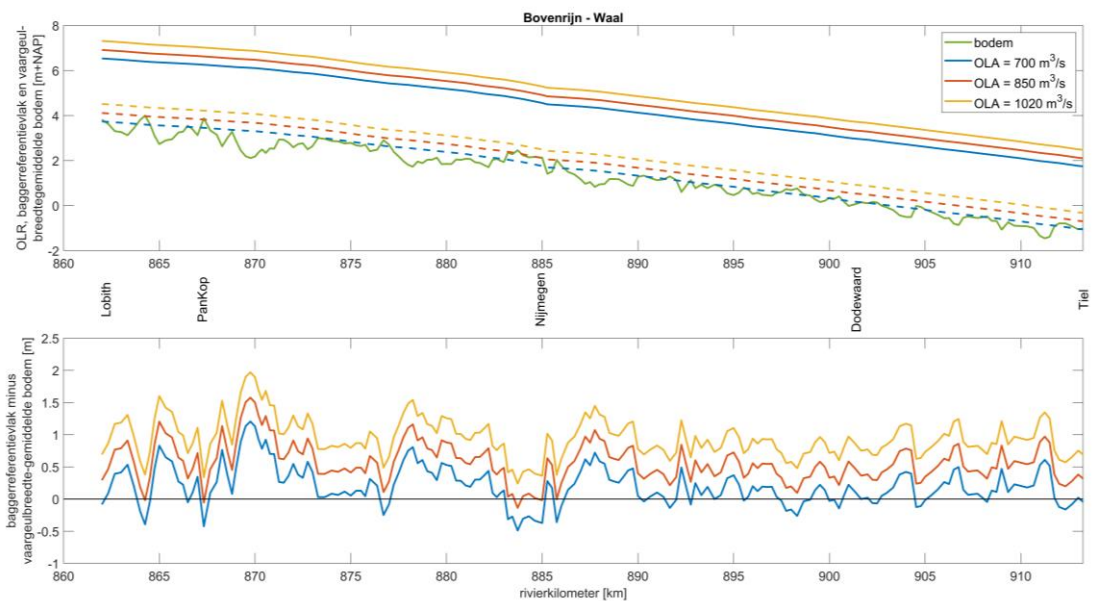
Figuur 9 (Boven-Rijn en Waal) en Figuur 10 (Pannerdensch Kanaal) tonen het verschil tussen het baggerreferentievlak en de vaargeulbreedtegemiddelde bodemligging. Hieruit kan geconstateerd worden dat pas bij een afvoer van 700 m<sup>3</sup>/s (Pannerdensch Kanaal) en op enkele locaties bij een afvoer van 850 m<sup>3</sup>/s (Nijmegen) er dwarsprofielen zijn die gemiddeld te ondiep zijn. Bij een toekomstige OLA van 970 m<sup>3</sup>/s hoort een OLR die qua vaargeulonderhoud van enkel de vaargeul nog niet tot een onhoudbare situatie zou hoeven leiden in de Boven-Rijn, de Waal en het Pannerdensch Kanaal (de minimale diepte is, wel met toenemende baggerinspanning, nog te realiseren). Het gebaggerde sediment zal op sommige locaties boven- of benedenstrooms gestort moeten worden, omdat er ter plaatse in het dwarsprofiel van de vaargeul geen overdiepte is.

Relevant om hier te vermelden: er is uitgegaan van een bodemligging gemiddeld over de *breedte van de vaargeul*. Dit is gedaan omdat bij de CCR is vastgelegd dat een vaargeul met breedte van 150 m (Boven-Rijn en Waal) en 80 m (Pannerdensch Kanaal) op diepte dient te worden gehouden (NB: CCR-protocol 2012-I-13 vermeldt 150 m, de 80 m wordt niet vermeld). De gemiddelde bodem ligt naar verwachting hoger als over een groter deel van het dwarsprofiel (tussen normaallijnen of over de bevaarbare breedte<sup>6</sup>) wordt gemiddeld. Het toekomstperspectief dat met de CCR is gedeeld, is om een vaargeul van 170 m te gaan onderhouden in de Boven-Rijn en Waal. Middeling over een vaargeulbreedte van 170 m in de Boven-Rijn en Waal doet de figuren nauwelijks veranderen.

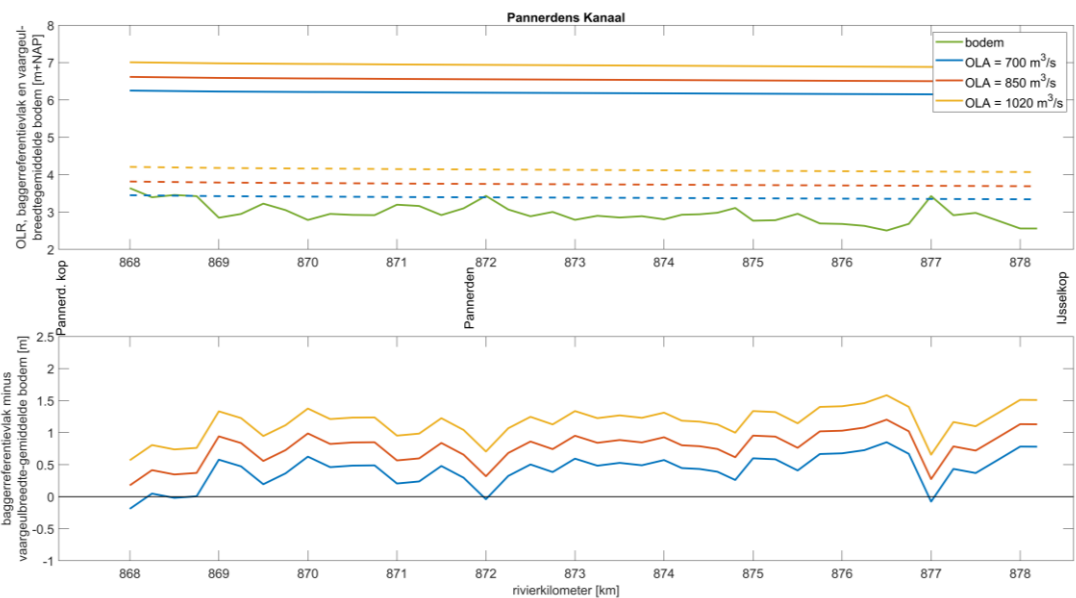
Verder wordt nog vermeld dat voor de figuren geen betrekkinglijnen zijn gebruikt bij het bepalen van de OLR, maar een numeriek model (zie De Jong & Van der Mark, 2021). Dit is voor de huidige OLR gecontroleerd met de beleidsmatige OLR2012 en levert geen significante verschillen.

<sup>6</sup> Voor de Boven-Rijn en Waal: het water tussen de denkbeeldige lijnen die op 30 meter uit de bakenlijnen / normaallijnen of op 5 meter uit de overige drijvende markering liggen.

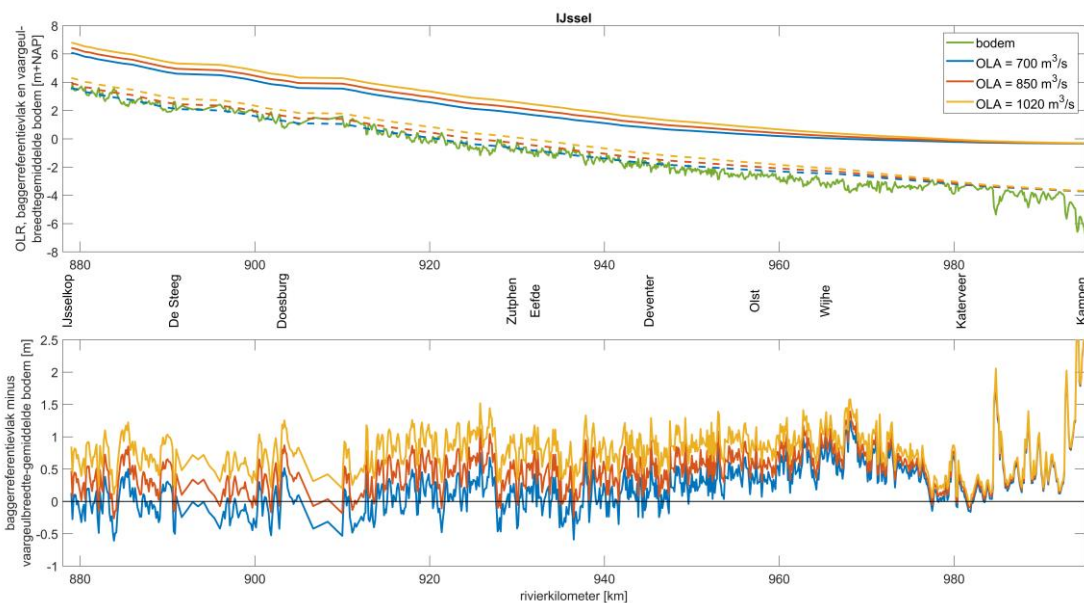
In de vergelijkbare figuren voor de IJssel (Figuur 11) en Neder-Rijn (Figuur 12) tot Driel is het beeld anders. Hier doorsnijdt de oranje lijn (afvoer van 850 m<sup>3</sup>/s) op beduidend meer locaties de nullijn. Een OLA van 970 m<sup>3</sup>/s ligt weliswaar hoger, maar dit duidt erop dat de situatie in deze riviertakken kritischer te noemen is dan voor de Boven-Rijn – Waal en het Pannerdensch Kanaal.



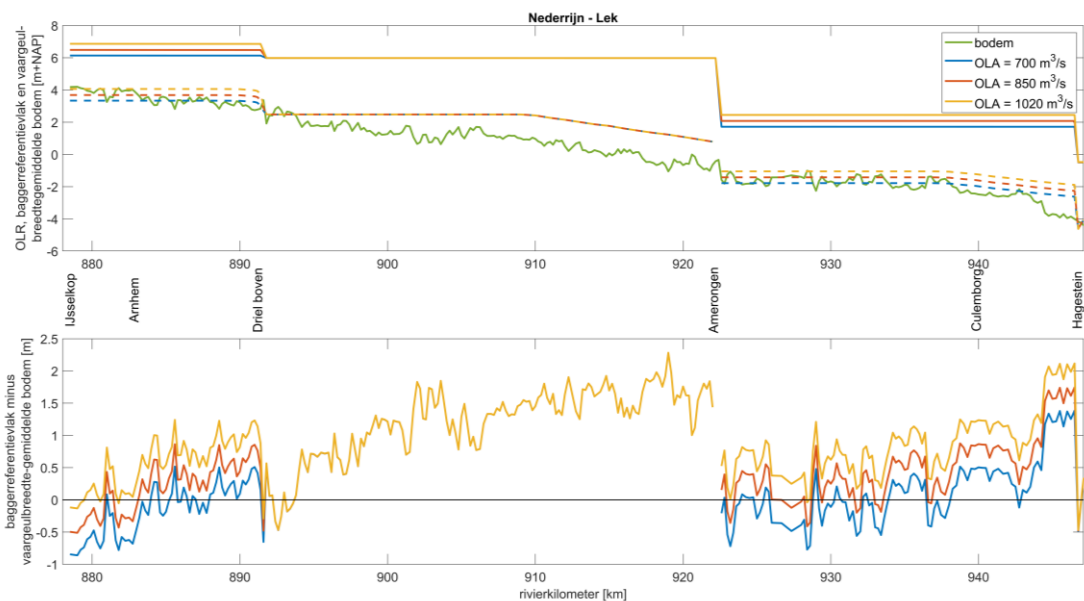
Figuur 9 Voor Boven-rijn en Waal: Boven: OLR-waterstanden bij verschillende OLA-waarden samen met de vaargeulgemiddelde bodemligging (getrokken lijnen), en baggerreferentievak (OLR minus 2,80 m) (gestreepte lijnen). Onder: verschil tussen baggerreferentievak en vaargeulgemiddelde bodem. Benedenstrooms van Tiel is sprake van OLW in plaats van OLR, daarom weergave enkel tot Tiel.



Figuur 10 Voor Pannerdensch Kanaal: Boven: OLR-waterstanden bij verschillende OLA-waarden samen met de vaargeulgemiddelde bodemligging (getrokken lijnen), en baggerreferentievak (OLR minus 2,80 m) (gestreepte lijnen). Onder: verschil tussen baggerreferentievak en vaargeulgemiddelde bodem.



Figuur 11 Voor IJssel: Boven: OLR-waterstanden bij verschillende OLA-waarden samen met de vaargeulgemiddelde bodemligging (getrokken lijnen), en baggerreferentievak (OLR minus 2,50 m en na Wijhe richting benedenstrooms toenemend tot 3,50 m) (gestreepte lijnen). Onder: verschil tussen baggerreferentievak en vaargeulgemiddelde bodem.



Figuur 12 Voor Neder-Rijn-Lek: Boven: OLR-waterstanden bij verschillende OLA-waarden samen met de vaargeulgemiddelde bodemligging (getrokken lijnen), en baggerreferentievak (OLR minus 2,80 m en na Driël richting benedenstrooms toenemend tot meer dan 5,0 m) (gestreepte lijnen). Onder: verschil tussen baggerreferentievak en vaargeulgemiddelde bodem. Benedenstrooms van Hagestein is sprake van OLW in plaats van OLR, daarom weergave enkel tot Hagestein.

## 3 Discussie

In het voorgaande hoofdstuk is beschouwd wanneer een onhoudbare situatie ontstaat (de gegarandeerde vaarwegafmetingen niet meer via baggeronderhoud te realiseren zijn) vanuit de volgende uitgangspunten:

- Vanuit het perspectief van vaargeulonderhoud,
- Uitgaande van KNMI '06 klimaatscenario's G en W+ (vergelijkbaar met KNMI '14),
- Wanneer de huidige methodiek van OLA- en OLR-bepaling in de toekomst gelijk blijft,
- Bij het garanderen van een vaargeul met afgesproken diepte en breedte (in de Boven-Rijn – Waal 2,80 m diep en 150 m breed),
- Waarbij grootte en capaciteit van de baggervloot buiten beschouwing zijn gebleven,
- En waarbij ervan uitgegaan is dat de huidige bodemligging in stand blijft (OLR en baggerreferentievlak dalen als OLA daalt).

Dit laatste punt is zeer wenselijk (IRM zal hierover binnenkort een beslissing nemen), maar mogelijk niet geheel realistisch.

Bij het meest extreme klimaatscenario leidt wordt een OLA in 2050 van rond de 970 m<sup>3</sup>/s verwacht. Bij deze OLA hoort een OLR die qua onderhoud van enkel de vaargeul nog niet tot een onhoudbare situatie zou hoeven leiden in de Boven-Rijn, de Waal en het Pannerdensch Kanaal. Er is gemiddeld binnen het dwarsprofiel nog genoeg diepte aanwezig om ondieptes op te ruimen en het sediment op de diepe delen te storten, maar de baggerinspanning zal in dat scenario wel toenemen ten opzichte van de huidige OLA. De Neder-Rijn tot Driel en IJssel zijn kritieker.

In dit hoofdstuk worden de bovenstaande uitgangspunten kort bediscussieerd.

### Breder perspectief dan vaargeulonderhoud

Baggerinspanning neemt toe wanneer de OLA (en daarmee OLR) afneemt, maar dat zal voor de Boven-Rijn en de Waal niet direct tot een knippunt leiden. Echter, als we kijken naar de te garanderen vaarwegafmetingen bij afnemende OLA en OLR, dan zal (i) de vaardiepte niet meer of steeds moeilijker te realiseren zijn bij de niet-baggerlocaties, sluisdrempels, voorhavens, vaste lagen bij Nijmegen en Erlecom, en (ii) de vaarbreedte van 150 m moeilijker te realiseren zijn bij de vaste lagen (zie voor de knelpunten ook De Jong & Van der Mark, 2021). Deze knelpunten zijn in principe met technische ingrepen te verhelpen.

### Klimaatscenario's

De gebruikte afvoerreeksen zijn afgeleid voor KNMI 2006 klimaatscenario's. Voor de 2014 scenario's zijn nooit transient afvoerreeksen opgesteld. Beide sets (2006 en 2014) beschrijven de hoekpunten waarbinnen de klimaatverandering in Nederland zich waarschijnlijk zal voltrekken. G en W+ voor 2006 en G<sub>L</sub> en W<sub>H,dry</sub> voor 2014 geven de onder- en bovengrenzen. De transient afvoerreeksen, ondanks dat ze niet op de meest recente scenario's gebaseerd zijn, geven goed inzicht in de toekomstige veranderingen (zie ook §2.2.2).

We kunnen beperkt doorkijken naar de nieuwste studies. Oktober 2023 verschijnen de nieuwe klimaatscenario's. Het Klimaatsignaal '21 (KNMI, 2021) geeft een eerste duiding van de mondiale IPCC-rapportages vertaald naar Nederland. In 2023 worden de scenario's gepubliceerd met getallen voor Nederland voor onder andere temperatuur, neerslag, droogte, wind en zeespiegelstijging.

Het klimaatsignaal '21 vermeldt dat transport over water in 2018 al aanzienlijk werd bemoeilijkt, en dat verdere verlagingen van waterstanden zullen leiden tot een aanzienlijke toename van kosten voor de scheepvaart. De neerslaghoeveelheid in de stroomgebieden van Rijn en Maas zal in de winter toe- en in de zomer afnemen, met hogere rivierafvoeren in de winter en lagere rivierafvoeren in de zomer tot gevolg. Het is nog onbekend hoe deze eerste duiding tot uiting zal komen in de nieuwe klimaatscenario's, maar het klimaatsignaal suggereert dat warme scenario's waarschijnlijker worden dan de gematigde scenario's en er dus een bijstelling nodig is. In de gematigde scenario's van 2014 neemt het aantal dagen per jaar dat een afvoer van 1020 m<sup>3</sup>/s wordt onderschreden af ten opzichte van de referentie (bijv. Van der Mark, 2019).

De CHR<sup>7</sup> (Stahl et al., 2022) heeft gekwantificeerd wat de fracties van regen, sneeuwsmelt gletsjerijs-smelt bij een toekomstig klimaatscenario zijn in de Rijn en zijtakken. Ook hier worden op basis van een ensemble aan projecties voor 2100 nattere winters en drogere zomers voorspeld. Volgens de verschillende simulaties wordt een toename in variabiliteit en in laagwater extremen verwacht.

### Methodiek

Uitgaande van de huidige CCR-methodiek zal de OLA met enkele tientallen kubieke meters per seconde afnemen richting 2050 bij snelle klimaatverandering. Aangezien de OLA slechts iedere 10 jaar wordt bijgesteld, blijft de OLA in ieder geval tot 2032 onveranderd (als deze in december 2022 wordt vastgesteld). Dit is positief vanuit het perspectief van het vaargeulonderhoud, en het kunnen voldoen aan de afspraken. Ook is een middeling over een zeer lange periode van 100 jaar gunstig vanuit dit perspectief van vaargeulonderhoud. Een kortere periode leidt bij een klimaatverandering met extremere laagwaters tot een lagere OLA (Sectie 2.2.2). Klein aandachtspunt hierbij is nog wel dat de 100 jaar niet als eis lijkt te zijn vastgelegd in het CCR-protocol.

Vanuit het perspectief van de binnenvaart zal er anders naar de methodiek worden gekeken. Een middeling over meerdere jaren betekent per definitie dat er ook af en toe jaren optreden waarbij het aantal dagen met een afvoer lager dan OLA meer bedraagt dan 20 dagen. In 2018 bijvoorbeeld bedroeg dit aantal 124 dagen.

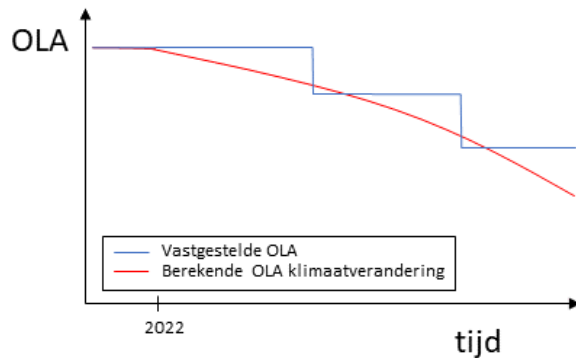
In de situatie dat het klimaat niet wezenlijk verandert (G in Figuur 6), blijft de OLA ongeveer gelijk, en verandert er ook niet veel aan de scheepvaartcondities. Af en toe een zeer droog jaar, waarbij het aantal dagen met een afvoer minder dan OLA meer is dan 20 dagen, en af en toe een zeer nat jaar waarbij het aantal dagen minder is dan 20.

In de situatie dat het klimaat wel wezenlijk verandert (W+ in Figuur 6), neemt de OLA in de loop der tijd af. Doordat de OLA iedere 10 jaar wordt vastgesteld, loopt men "achter de feiten" aan (schematische weergave in Figuur 13). Als het in de komende jaren steeds vaker laagwater wordt, representeert de huidige OLA (afgeleid uit het verleden) niet meer het beeld van de komende 10 jaren. Als de vastgestelde OLA en OLR niet snel genoeg meebewegen met een snelle klimaatverandering, wordt in bijvoorbeeld het jaar 2032 (uitgaande dat in 2033 een nieuwe OLA en OLR worden vastgesteld) de bodem onderhouden op de beleidsmatige OLR 2023 minus minimale waterdiepte, terwijl die OLR 2023 dan gemiddeld vaker dan 20 dagen per jaar wordt onderschreden (de waterstand die in het jaar 2032 gemiddeld 20 dagen per jaar wordt onderschreden ligt lager). Vanuit het perspectief van de binnenvaart is dat nadelig, er kan minder lading vervoerd worden. Daarnaast, als de OLA wordt vastgesteld aan de hand van de afgelopen 100 jaar, is die periode ook onvoldoende representatief voor de recentere en komende jaren waarin het klimaat verandert. Als het daadwerkelijk steeds droger wordt, komt dit onvoldoende tot uiting in een reeks van 100 jaar.

---

<sup>7</sup> International Commission for the Hydrology of the Rhine basin

Vanuit het perspectief van de scheepvaart én in de situatie dat het vaker laagwater wordt, zou het wenselijker zijn als de OLA vaker dan iedere 10 jaar wordt bijgesteld en/of de middelingsperiode korter wordt. Een te korte middelingsperiode is echter ook ongewenst vanwege de natuurlijke variabiliteit van periodes met natte en droge jaren; daarom zou het vanuit scheepvaartperspectief ook nog interessant kunnen zijn om toekomstscenario's te betrekken (zoals in Figuur 6) in plaats van de middelingsperiode in te korten.



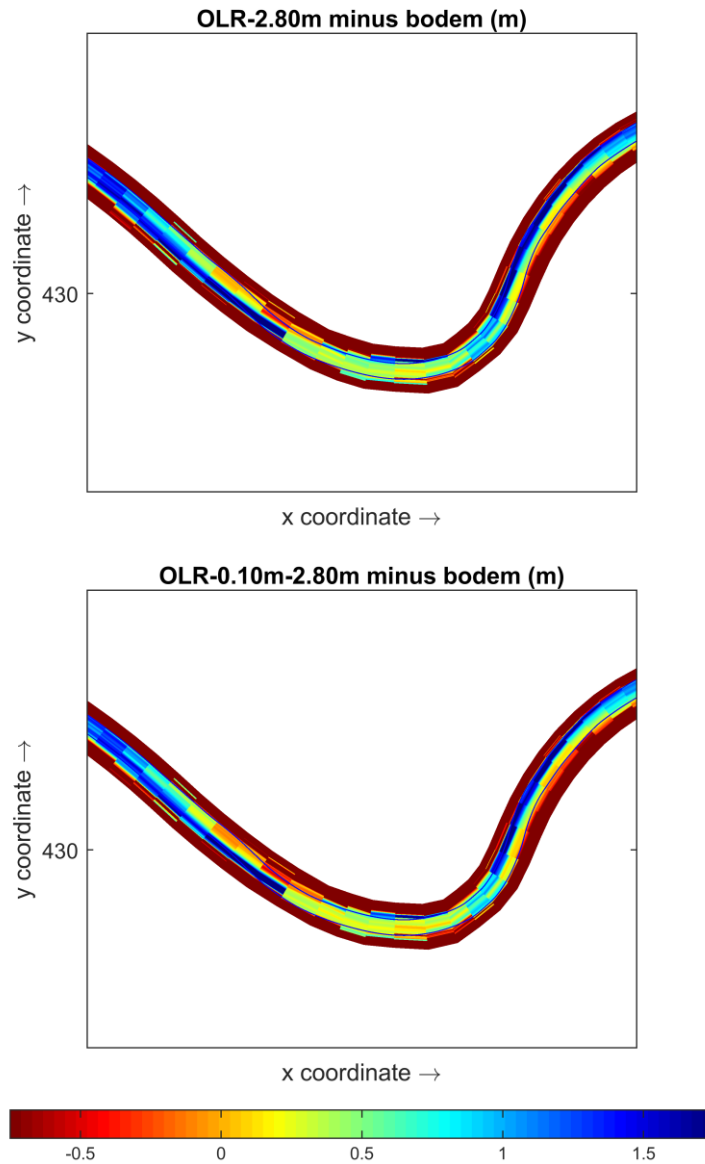
Figuur 13 Schematische weergave van hoe de vastgestelde OLA achterloopt in de situatie waarin het klimaat snel verandert (W+).

#### Onderhoud t.b.v. afgesproken minimale vaargeulafmetingen

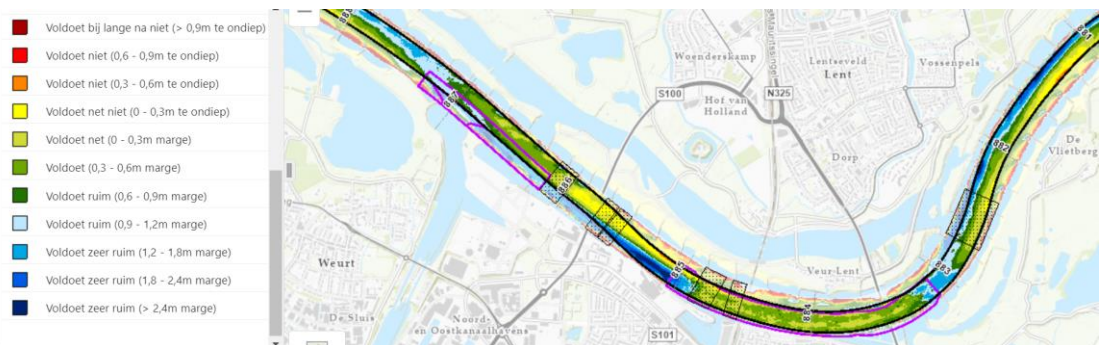
Een afname in OLA zorgt voor een daling in OLR, en daarmee tot een toename in vaargeulonderhoud om de afgesproken diepte te blijven garanderen. Voor de volledigheid wordt vermeld dat het baggerwerk geen invloed heeft op de waterstand. Het gaat om kleinschalige veranderingen waarbij het sediment in de nabijheid weer wordt teruggestort, zodat dit de waterstand niet beïnvloedt. Een afname in OLA van 1020 naar 970 m<sup>3</sup>/s zorgt ongeveer voor een diepte-afname van 10 cm op al de takken (Boven-Rijn, Waal, Pannerdensch Kanaal, IJssel, Neder-Rijn), uitgaande van de onderstaande vergelijking. Dit stemt ook overeen met Figuur 9 t/m Figuur 12.

$$\frac{d_{new}}{d_{ref}} = \left( \frac{Q_{new}}{Q_{ref}} \right)^{2/3}$$

De bijbehorende toename in vaargeulonderhoud kan in principe gekwantificeerd worden met een morfologisch Delft3D-model, waarin ook de zogenaamde “baggermodule” gebruikt wordt. Morfologische voorspellingen zijn van nature minder nauwkeurig dan voorspellingen van waterstanden en stromingen (hydrodynamica). Daarbij geldt dat de voorspelde morfologische ontwikkelingen nauwkeuriger zijn dan berekende baggervolumes. In morfologische berekeningen wordt meer belang gehecht aan de resultaten van de bodemveranderingen dan aan de daadwerkelijke absolute baggervolumes. Als eerste toets kan een huidige bodem geconfronteerd worden met zowel de huidige OLR als een 10 cm lagere OLR, waarmee inzichtelijk wordt waar precies aanvullend onderhoud nodig is (zie ook IRM en BRL). Een 10 cm lagere OLR laat op de Boven-Rijn en Waal weinig verschillen zien (sterk ingezoomd op een stukje Waal in Figuur 14). Deze exercitie kan verder uitgewerkt worden indien gewenst. Voor de bodem kan een vergridde bodem gebruikt worden zoals in Figuur 14 of een (bewerkte) multibeam bodem (zoals in Figuur 15).



Figuur 14 Bovenaanzicht van 2D waterdiepte ten opzichte van de norm. Boven: (OLR-2,80 m) – bodem. Onder: (OLR-0,10 m-2,80 m) – bodem. De blauwe lijnen geven de vaargeul weer. Bodemligging, zoals afgeleid in De Jong en Van der Mark (2019), is gebruikt.



Figuur 15 Bovenaanzicht van 2D waterdiepte ten opzichte van de norm: (OLR-2,80 m) – bodem. Bron: <https://maps.rijkswaterstaat.nl/gwproj55/index.html?viewer=ON> Waterdieptekaarten\_Rijntakken.Webviewer



Deze exercitie laat zien waar *minimaal* aanvullend onderhoud zou moeten worden gepleegd om gemiddeld 345 dagen per jaar een minimale waterdiepte van 2,80 m te garanderen als de OLA afneemt tot 970 m<sup>3</sup>/s en daarmee de OLR afneemt met ordegrootte 10 cm. In theorie is met dit aanvullend onderhoud dan zowel in de huidige (1020 m<sup>3</sup>/s) als toekomstige (970 m<sup>3</sup>/s) situatie een minimale waterdiepte van 2,80 m gegarandeerd gedurende gemiddeld 345 dagen per jaar, en is er dus geen schade voor de scheepvaart. In werkelijkheid zijn er de vaste lagen en niet-baggerlocaties waarboven de waterdiepte afneemt en die bepalender worden en voor extra kosten zorgen voor de scheepvaart (minder afladen). Daarnaast zijn er altijd wel locaties aanwezig, met name aan de rand van de vaargeul, die toch niet op diepte zijn (de MGD's), bijvoorbeeld doordat hier tegen de natuur in wordt gebaggerd of door beperkingen bij de aannemer; ook die locaties nemen toe in aantal en nemen af in diepte bij afnemende OLA.

Tot hier in de rapportage werd puur gekeken naar extra onderhoud om aan de afgesproken vaargeulafmetingen te voldoen als gevolg van een andere OLA en dus OLR bij een ongewijzigde bodem. Veranderde bodem door erosie (zie hierna het kopje bodemerosie) en morfologische respons die het gevolg is van klimaatverandering zijn niet meegenomen. In Sloff et al. (2011) zijn morfologische simulaties beschreven voor verschillende klimaatscenario's. De simulaties laten zien dat de invloed van de scenario's op het patroon van banken in de hoofdgeul gering is. Een geringe toename van de variabiliteit in lokale bodemligging (en waarschijnlijk toename in baggeronderhoud) treedt op voor scenario 2100W+ ten opzichte van de referentie. Dit is waarschijnlijk een reactie op de langere periode van hoge afvoer in dit scenario.

Het toekomstbeeld voor de Boven-Rijn en Waal is dat de vaargeul 170 m breed is. Vanuit scheepvaartperspectief is dat gunstig. Door de verbreding is de ruimte tussen schepen groter. Hierdoor worden inhaal- en olopmanoeuvres veiliger en kunnen schepen elkaar met grotere snelheid passeren, wat de vlotheid ten goede komt. Het lijkt echter een onlogisch toekomstbeeld als tegelijkertijd wordt bekeken of de huidige vaargeulafmetingen in de toekomst nog wel gegarandeerd kunnen worden. Yossef et al. (2008) laten zien aan de hand van een numerieke analyse met een morfologisch model dat verbreding van de geul naar 170 m tot een ruime verdubbeling van de baggervolumes leidt. Het is momenteel niet bekend wat de status van dit perspectief is, hoe nauwkeurig dit modelresultaat is, en wat de implicaties voor de aannemer zijn (of een verdubbeling van de inspanning uitvoerbaar is) als een bredere geul dient te worden onderhouden. Het is aan te bevelen hier gezamenlijk meer inzicht in te krijgen.

#### Baggeroperatie

Als meer vaargeulonderhoud nodig is, vraagt dit extra inspanning van de aannemer. Op dit moment is het soms al lastig om de alluviale bodem in de vaargeul altijd en overal onder het baggerreferentievlak te houden (getuige MGD-registraties in de vaargeul). Dit zal toenemen bij afnemende OLA en baggerreferentievlak. Het is onduidelijk in hoeverre de operatie van de aannemer nu al tegen grenzen aanloopt.

Bij meer vaargeulonderhoud, is ook de toename in uitstoot en de capaciteit van de vloot of ander materieel, en hinder die de scheepvaart ondervindt van het baggeren van belang. De baggeroperatie is nu niet beschouwd en zou eerder tot een knippunt kunnen leiden. Het verdient aanbeveling om te toetsen bij de aannemers of de huidige operatie al tegen grenzen aan loopt en hoe die wijzigt bij laagwater of verlaging van het baggerreferentievlak, en hoe zij aankijken tegen de (operationele) implicaties van een afname van de OLA.

### Bodemerosie

De rivierbodem erodeert, wat één van de redenen is om iedere 10 jaar de OLR te actualiseren. De bodemerosie heeft in principe geen invloed op de OLA bij Lobith, maar verandert wel de OLR-waterstanden op de benedenstroomse takken.

Aangezien er nog geen IRM-besluit over de bodem ligt, kan verondersteld worden dat de bodem nog minimaal enkele jaren door erodeert. Dat betekent dat bij gelijkblijvende OLA de OLR naar beneden bijgesteld zal worden over 10 jaar bij de CCR, zoals dat in de afgelopen 10 jaar steeds is gebeurd (zie ook Bijlage A).

De bodemerosie zorgt ervoor dat er meer afvoer naar de Waal gaat ten koste van het Pannerdensch Kanaal en IJssel (zie ook De Jong, 2020). Dit is gunstig voor de waterdiepte en het vaargeulonderhoud op de Waal. De afname in OLA door klimaatverandering is ongeveer in dezelfde orde (ca 50 m<sup>3</sup>/s in 2050) als de toename van de afvoer richting de Waal door de bodemerosie (ca 30 m<sup>3</sup>/s in 2050). Dat zou grofweg betekenen dat de OLR op de Waal niet veel verandert als beide volgens de verwachting verlopen. Een afname in OLA in combinatie met verminderde afvoer richting het Pannerdensch Kanaal heeft een negatief effect op de OLR in het Pannerdensch Kanaal. Bij een OLA van 1020 m<sup>3</sup>/s gaat er circa 20%, dus circa 200 m<sup>3</sup>/s door het Pannerdensch Kanaal en daarvan circa 170 m<sup>3</sup>/s naar de IJssel (De Jong, 2020). Bij een OLA van 970 m<sup>3</sup>/s zal dit respectievelijk circa 190 m<sup>3</sup>/s en 162 m<sup>3</sup>/s zijn. Als daarnaast door bodemerosie meer water naar de Waal wordt getrokken (ca 30 m<sup>3</sup>/s), zal er opgeteld zo'n 40 m<sup>3</sup>/s minder door het Pannerdensch Kanaal stromen. Idem voor de IJssel als verondersteld wordt dat de afvoer door de Neder-Rijn nagenoeg onveranderd blijft (stuwprogramma). Dit zou neerkomen op ordegrootte 30 à 40 cm afname in waterdiepte in het Pannerdensch Kanaal en iets meer in de IJssel. Voor het Pannerdensch Kanaal is er in de huidige situatie nog wel ordegrootte 1 m overdiepte (Figuur 10), die ruimte is er niet op de IJssel. We stelden al dat een afname van de toekomstige OLA door klimaatverandering voor de IJssel en Neder-Rijn tot Driel het meest kritisch is met betrekking tot het hanteren van de vaarwegafmetingen; de bodemerosie versterkt dit.

Om de bodemerosie tegen te gaan wordt mogelijk in IRM besloten om sedimentsuppleties te gaan uitvoeren en/of langsdammen aan te leggen in de komende 10 jaar. Als die maatregelen grootschalig worden uitgevoerd, heeft dit mogelijk een opstuwend effect op de waterstanden. Het is dan aan te bevelen om de OLR vaker dan 10 jaar te actualiseren.

### Mogelijkheden

Bij een lagere OLA wordt het lastiger om te voldoen aan de internationale eisen. Hoe hier mee om te gaan, kan op twee manieren aangevlogen worden. Enerzijds kunnen de internationale eisen versoepeld worden. Dit is waarschijnlijk niet de gewenste weg om te bewandelen, maar als aantoonbaar gemaakt kan worden dat in de toekomst niet voldaan kan worden aan de eisen, moet dit overwogen worden en bespreekbaar gemaakt worden. Mogelijke aanpassingen hierbij zouden kunnen zijn:

- Minimale vaardiepte bij OLR reduceren,
- Minimale vaarbreedte bij OLR reduceren,
- 20 dagen onderschrijding verhogen,
- Tweeledige definitie invoeren: vanaf een zekere afvoer gelden andere eisen aan de vaarwegafmetingen (diepte en/of breedte),
- OLA en OLR minder vaak dan eens in de 10 jaar actualiseren,
- Nog langere reeks dan 100 jaar gebruiken.

Anderzijds kan de infrastructuur worden aangepast of kan anders gehandeld worden, zodat de onderhoudsinspanning van de aannemer mogelijk wordt gereduceerd:

- Het oplossen van de lokale constructieve (niet alluviale) knelpunten is nodig om op die locaties de minimale diepte te blijven garanderen. Het betreft vaste lagen, bodemkribben, drempels bij sluizen en niet-baggerlocaties (bijv vanwege tunnels, kabels en leidingen).
- De al genoemde langsdammen en sedimentsuppleties kunnen de laagwaterstanden verhogen, zodat bij gelijkblijvende OLA wel de OLR toeneemt (of bij afnemende OLA de OLR niet meedaalt).
- Sediment dat gebaggerd wordt dient te worden teruggestort. Dit gebeurt in de nabijheid. Op deze manier wordt sediment continu “rondgepompt”. In het verleden is wel eens bekeken of een ander terugstortbeleid resulteert in minder onderhoudswerk. Het verdient aanbeveling daar nog eens naar te kijken, en zo nodig te herhalen met het huidige beleid.
- Pro-actief baggeren en/of tot grotere diepte baggeren zou tot meer efficiëntie kunnen leiden. Naar verwachting, omdat het lokale ingrepen betreft, heeft dit geen effect op de waterstanden.
- Op dit moment moet de bodem altijd voldoen aan OLR minus gegarandeerde diepte, ook als het relatief hoog water en er dus voldoende vaardiepte is (ter check bij de aannemer!). Hiervan zou afgestapt kunnen worden (andere criteria in het contract) als het voor de doorgaande scheepvaart geen negatieve consequenties heeft.
- Op dit moment wordt de bevaarbare breedte van de rivier onderhouden (ter check bij de aannemer!), terwijl de internationale afspraak is dat de vaargeul, die smaller is dan de bevaarbare breedte, op diepte moet zijn. Door in tijden van laagwater de inspanning vooral te richten op de vaargeul, valt wellicht winst te behalen.
- Nieuwe baggertechnieken (zoals waterinjectiebaggeren<sup>8</sup>) zouden de onderhoudsinspanning kunnen beperken.

#### Aktewateren en vastgelegde afspraken

Tot slot enkele zaken die opvielen ten aanzien van internationale afspraken in CCR-kader:

- De CCR communiceert vaarwegafmetingen in een figuur<sup>9</sup>, die mogelijk tot verwarring kan leiden. De figuur suggereert een vaargeulbreedte van 150 m ook in het Pannerdensch Kanaal en Neder-Rijn – Lek. De figuur suggereert ook een diepte van 2,80 m tot rkm 952 in de Waal (Vuren) en rkm 955 in de Lek (Hagestein), terwijl die toeneemt vanaf respectievelijk rkm 917 (nabij Tiel) en rkm 890 (nabij Driel); aangezien het minimum waterdiepte betreft is dit laatstgenoemde op zich geen probleem.
- Voor de Waal als waterweg is in de jaren '90 een toekomstbeeld geschetst om in 2010 een vaargeul van 2,80 m diep en 170 m breed te realiseren bij OLR in plaats van 2,50 m diep en 150 m breed (zie bijvoorbeeld CCR-jaarverslag 1998-1999). Voor de diepte is dit inmiddels bewerkstelligd, voor de breedte niet. Het is niet traceerbaar wat voor de breedte de status is.
- Er lijkt geen bron (besluit, protocol) van de CCR te zijn waarin expliciet over de *wijziging* in vaargeuldiepte in Nederland van 2,50 m naar 2,80 m wordt gerapporteerd. Het figuur “vaarwegprofiel van de Rijn” (zie voetnoot 9), ook opgenomen in de aangenomen besluiten “2012-I protocol 13”, vermeldt 2,80 m, waar het vergelijkbare figuur in eerdere rapportages van voor 2012 nog een diepte van 2.50 m vermeldt. De CCR heeft de wijziging overgenomen in de figuur na bilaterale afspraken tussen Nederland en Duitsland (Rhein – Waal protocol).

---

<sup>8</sup> Water injection dredging (WID) is een baggermethode waarbij bodemmateriaal wordt verplaatst door water onder lage druk in de bodem te spuiten. Deze methode van baggeren is met name geschikt om recent afgezet sediment te verwijderen (onderhoudsbaggerwerk). De methode is ook toepasbaar om fijn zand over kortere afstanden te verplaatsen. (bron: [https://nl.wikipedia.org/wiki/Water\\_injection\\_dredger](https://nl.wikipedia.org/wiki/Water_injection_dredger)).

<sup>9</sup> [https://www.ccr-zkr.org/files/documents/infovoienavigable/Wasserstrassenprofil\\_nl.pdf](https://www.ccr-zkr.org/files/documents/infovoienavigable/Wasserstrassenprofil_nl.pdf)

- De Lek en de Waal worden beschouwd deel uit te maken van de Rijn volgens de Herzene Akte van Mannheim. Bij de vaststelling van de OLR 2012 (CCR protocol 2014-II-17) worden echter geen peilstations op de Lek genoemd (enkel OLR voor Lobith, Pannerdensche Kop, Nijmegen, Tiel en IJsselkop).
- De OLA is in 2012 vastgesteld voor Lobith, en ook voor de Waal, het Pannerdensch Kanaal, de Neder-Rijn en de IJssel. Het memo (Rijkswaterstaat, 2022) dat als input dient voor de vaststelling van de nieuwe OLA-waarden maakt echter alleen melding van de OLA bij Lobith.

## 4 Conclusies en aanbevelingen

Dit rapport richt zich op de vraag of / wanneer het onhoudbaar of onhaalbaar wordt om in de toekomst nog te voldoen aan de vaarwegafmetingen zoals die zijn vastgelegd in internationale CCR-afspraken, en dan met name vanuit het perspectief van het vaargeulonderhoud in de rivier. Dit is niet hetzelfde als de vraag wanneer de vlothoed en veiligheid van de rivier als vaarweg wordt aangetast (door klimaatverandering).

De te onderhouden vaardiepte en vaarbreedte zijn vastgesteld ten opzichte van een internationaal overeengekomen referentieniveau, de zogenaamde Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR); dit is de waterstand behorend bij de Overeengekomen Lage Afvoer (OLA).

De belangrijkste conclusies van het rapport zijn:

- Bij een veranderend klimaat (gematigd of warm) zal de Overeengekomen Lage Afvoer (OLA) in de toekomst volgens, in KBN niet eerder gebruikte, transient afvoerreksen bij Lobith ongeveer gelijk blijven of licht toenemen ten opzichte van de huidige OLA (gematigd scenario) of afnemen tot ordegrrootte 970 m<sup>3</sup>/s in 2050 en 850 m<sup>3</sup>/s in 2085 (warm scenario). Het warme scenario lijkt plausibeler dan het gematigde, aangezien recente studies drogere zomers en lagere rivierafvoeren in de zomer voor de toekomst verwachten; maar hier lopen we (wellicht ten onrechte) vooruit op de nog komende KNMI scenario's van 2023.
- Deze OLA-waarden voor het warme scenario zijn hoger dan in eerdere studies is gerapporteerd. Dit komt doordat in die studies niet de methodiek is toegepast, die in de CCR is afgesproken.
- Ten aanzien van de CCR-methodiek: doordat de OLA slechts iedere 10 jaar wordt vastgesteld, representeert de vastgestelde OLA bij snelle klimaatverandering niet meer het beeld van een paar jaren later. Vanuit onderhoudsperspectief is dat gunstig: dankzij de achterlopende, eigenlijk te hoge OLA voor de situatie, hoeft er minder onderhoud plaats te vinden om aan het dieptebeleid te voldoen. Voor de scheepvaart is dit echter nadelig: de gegarandeerde minimale diepte is niet aanwezig, aangezien wordt onderhouden ten opzichte van een achterhaalde OLA.
- Een lagere OLA leidt tot lagere OLR en daarmee tot een grotere onderhoudsinspanning om aan de gegarandeerde vaargeulafmetingen te blijven voldoen.
- Puur beschouwd vanuit de huidige waterdiepte die nu aanwezig is in de vaargeul, wordt geconcludeerd dat op de alluviale trajecten van de Boven-Rijn, de Waal en het Pannerdensch Kanaal er nog voldoende "overdiepte" is om het gebaggerde sediment vanuit ondieptes in diepere delen terug te storten, dus om een afname in OLA op te vangen. Een OLA van ordegrrootte 970 m<sup>3</sup>/s leidt nog niet tot problemen in de alluviale delen van de rivier.
- De IJssel en Neder-Rijn tot Driel zijn kritieker. Het garanderen van de vaargeulafmetingen wordt hier lastig bij een afname van de OLA. Dit wordt nog versterkt als de verschuiving van de afvoerverdeling door bodemerrosie in de toekomst doorzet (meer water naar de Waal ten koste van de IJssel).
- Hoewel de toekomstige OLA bij snelle klimaatverandering hoger wordt ingeschat dan in eerdere studies en er op de Boven-Rijn, de Waal en het Pannerdensch Kanaal nog voldoende marge op de waterdiepte is om de afgesproken vaargeulafmetingen te garanderen op de alluviale trajecten, plaatsen we de volgende aandachtspunten:

- Er zijn wel degelijk locaties waar de afgesproken minimale waterdiepte bij OLR in het geding komt of al is, namelijk ter plaatse van niet-alluviale trajecten en bij kunstwerken. De bekende kritieke locaties die niet verholpen worden middels baggeren zullen bij een toekomstige afname van de OLA kritieker worden. Het betreft niet-baggerlocaties (vanwege kabels, leidingen, tunnels), de vaste lagen en bodemkribben, en drempels en voorhavens bij sluisen.
- Er is niet goed in te schatten of de extra onderhoudsinspanning door de aannemer wel praktisch uitvoerbaar is. Op dit moment lijkt het soms al lastig om de alluviale bodem in de vaargeul altijd en overal onder het baggerreferentievlak te houden. Het is onduidelijk in hoeverre de operatie van de aannemer nu al tegen grenzen aanloopt. Ook toenemende hinder voor de doorgaande scheepvaart door toename in onderhoud is hierbij een aandachtspunt. Het is aan te bevelen hier gezamenlijk met de aannemer meer inzicht in te krijgen. Tot slot wordt aanbevolen om ook te bekijken wat de implicaties voor de aannemer zijn ten aanzien van praktische uitvoerbaarheid van een bredere vaargeul van 170 m op de Boven-Rijn en Waal.

## 5 Referenties

- Haasnoot, M., J. Schellekens, J.J. Beersma, H. Middelkoop & J.C.J. Kwadijk (2015). Transient scenarios for robust climate change adaptation illustrated for water management in The Netherlands. *Environ. Res. Lett.* 10, 105008, doi:10.1088/1748-9326/10/10/105008.
- Jong, J.S. De (2019). KBN: Bedreiging klimaatverandering - Beschrijving karakteristieke droge jaren met stationaire afvoerniveaus. Deltares memo 11203738-005-BGS-0002 versie 1.1, d.d. 14 december 2019.
- Jong, J.S. De (2020). Effect van een nieuwe bodemhoogte 2050 op de waterstanden en afvoeren op de Rijntakken. Deltares memo 11203738-005-BGS-0011, d.d. 19 januari 2020.
- Jong, J.S. De & R. van der Mark (2021). KBN-HVWN Stresstest droogte Rijntakken: Toestand van het Systeem en Kwetsbaarheid gebruiksfunctie. v1.1. Deltares rapport 11205274-004-BGS-0022, d.d. 7 mei 2021.
- KNMI (2021). KNMI Klimaatsignaal'21: hoe het klimaat in Nederland snel verandert, KNMI, De Bilt, 72 pp. [https://cdn.knmi.nl/knmi/asc/klimaatsignaal21/KNMI\\_Klimaatsignaal21.pdf](https://cdn.knmi.nl/knmi/asc/klimaatsignaal21/KNMI_Klimaatsignaal21.pdf)
- Mark, R. van der (2019). Klimaatbestendig Vaarwegennetwerk – werkzaamheden 2018. Deltares memo met kenmerk 11202246-008-BGS-0003, d.d.19 april 2019.
- Rijkswaterstaat (2002). Bagger Referentie Vlak 2002; Beschrijving methodiek ten behoeve van bestek ON 1200. Rijkswaterstaat Directie Oost Nederland memo, M. Taal, d.d. 1 mei 2002.
- Rijkswaterstaat (2019). Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren. Versie 5.0.
- Rijkswaterstaat (2021). Beoordeling waterdiepte-effecten door rivierprojecten in de hoofdvaarwegen in de Rijntakken, versie 1.0. Memo Rijkswaterstaat Oost-Nederland, R. Tonis, dd. 1 jun 2021.
- Rijkswaterstaat (2022). OLR 2022. Bepaling Overeengekomen Lage Rivierwaterstand 2022 voor de Nederlandse Rijntakken, d.d. 3 februari 2022.
- Rura (2019). Betrekkingslijnen Rijntakken, versie 2018. Rapport 4500283440, mei 2019.
- Sloff, C.J., M.F.M. Yossef & R. van der Mark (2011). Deltaprogramma Rivieren morfologie en scheepvaart – Bepalen opgave 2100. Deltares rapport 1203442-000-VEB-0006, d.d. 20 september 2011.
- Stahl, K., Weiler, M., van Tiel, M., Kohn, I., Hänsler, A., Freudiger, D., Seibert, J., Gerlinger, K., Moretti, G. (2022): Impact of climate change on the rain, snow and glacier melt components of streamflow of the river Rhine and its tributaries. CHR report no. I 28. International Commission for the Hydrology of the Rhine basin (CHR), Lelystad.
- Svašek (2019). Opstellen Qf relaties 2018, Data-analyse en modelstudie. Rapport 1961/U19462/E/BvL, december 2019.
- Yossef, M.F.M, H.R.A. Jagers, S. van Vuren & A. Sieben (2008). Innovative techniques in modelling large-scale river morphology. River flow 2008, Proc. of the intern. conf. on fluvial hydraulics, Cesme, Izmir, Turkey. Pp. 1065-1074.

## A Overzicht OLA- en OLR-waarden sinds 2002

Peilschaal	Bron:	OLR 2002 (cm+NAP) CCR 2014-II-17	OLR 2012 (cm+NAP) CCR 2014-II-17	OLR 2022 *) (cm+NAP) RWS (2022)
Lobith		752	739	733
Pannerdensch Kop		733	713	700
Nijmegen		545	523	516
Tiel		262	258	255
IJsselkop		709	694	683

\*) Nog niet officieel vastgesteld.

Riviertak / Peilschaal	Bron:	OLA 2002 (m <sup>3</sup> /s) CCR 2014-II-17	OLA 2012 (m <sup>3</sup> /s) CCR 2014-II-17	OLA 2022 *) (m <sup>3</sup> /s) RWS (2022)
Boven-Rijn / Lobith		1020	1020	1020
Waal / Pannerdensch Kop		818	826	
Pannerdensch Kanaal / Pann. Kop		202	195	
Neder-Rijn / IJsselkop		30	24	
IJssel / IJsselkop		172	171	

\*) Nog niet officieel vastgesteld.



Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)