

## Memo

<b>Datum</b> 9 juli 2021	<b>Ons kenmerk</b> 11205274-004-BGS-0015	<b>Aantal pagina's</b> 1 van 13
<b>Contactpersoon</b> Jurjen de Jong Rollen van der Mark	<b>Doorkiesnummer</b> +31(0)88 335 8038	<b>E-mail</b> Jurjen.deJong@deltares.nl

**Onderwerp**  
KBN - Stresstest droogte - Mogelijke maatregelen

Versie	Auteur	Controle	Akkoord
1.0	Jurjen de Jong Rollen van der Mark	Aukje Spruyt	Johan Boon





## 1 Introductie

Dit memo is onderdeel van het programma Klimaatbestendige Netwerken (KBN) voor het hoofdvaarwegennet (HVWN). In dit programma wordt de kwetsbaarheid van de binnenvaart voor diverse bedreigingen onderzocht. In dit memo wordt een eerste overzicht gegeven van mogelijke maatregelen om de impact van droogte op de Rijntakken te verkleinen. Het is toeleverend voor verdere discussie met en vanuit Rijkswaterstaat over maatregelen.

## 2 Maatregelen Rijntakken

### 2.1 Inleiding

Maatregelen om het hoofdvaarwegennet veerkrachtiger, robuuster (minder kwetsbaar) te maken in geval van droogte, worden vaak onderverdeeld in vier componenten. In dit memo volgen wij ook die indeling. Maatregelen kunnen genomen worden ten aanzien van:

- Infrastructuur (zowel de vaarweg als constructies)
- Vloot / Maritiem
- Logistiek
- Informatievoorziening

Deze indeling maakt ook duidelijk welke partijen / sectoren hieraan een bijdrage kunnen leveren. In dit memo ligt de nadruk op de infrastructurele maatregelen en informatievoorziening (expertise Deltares); de expertise voor de andere componenten is te vinden bij o.a. MARIN en TNO, kennisinstellingen waarmee we ook samenwerken op deze problematiek (bijv. NWO-onderzoek binnen de blauwe route van NWA in 2021 door TNO, MARIN en Deltares).

Zeer waarschijnlijk kan wel gesteld worden dat op alle componenten maatregelen genomen moeten worden om het vaarwegennetwerk op termijn bevaarbaar te houden (ook volgens de CCR). Een lage rivierafvoer komende vanaf bovenstrooms zal in de toekomst vaker voorkomen, en dit is zeer slecht beïnvloedbaar (we kunnen geen water maken). Alleen infrastructurele maatregelen waarmee water wordt vastgehouden/opgestuwd, zal onvoldoende zijn.

Ten aanzien van infrastructurele maatregelen kan er om te beginnen onderscheid gemaakt worden in grootschalig en kleinschalig. Enerzijds bestaan er lokale knelpunten in het vaarwegennet, anderzijds zijn er maatregelen te bedenken die werken op riviertak-niveau (of nog verder). Waarschijnlijk zal ook niet ieder knelpunt volledig oplosbaar zijn. Maatregelen kunnen een groot verschil in effectiviteit hebben; orde centimeters (bijv. langsdammen) of meters (creëren stuwpanden).

Dit memo richt zich voor nu vooral op de Nederlandse problematiek (maatregelen voor Nederlandse knelpunten), maar het is zeer belangrijk om altijd over de grenzen te blijven kijken. Maatregelen die in Nederland of over de grens genomen worden (zoals het 8-puntenplan van Duitsland), kunnen invloed hebben op de bevaarbaarheid elders, dus internationale samenwerking is vereist.

De component “informatievoorziening” houdt in dat als de afvoer laag is of wordt, meer en betere informatie beschikbaar wordt gemaakt waarmee naar verwachting betere beslissingen genomen kunnen worden dan nu het geval is. Denk hierbij aan reisplanning ten tijde van laagwater, maar ook alvast anticiperen op een komende periode van laagwater door voorraadbeheer.

Zelfs wanneer allerlei maatregelen op alle vier de componenten zijn genomen, zal er waarschijnlijk nog steeds zo nu en dan impact op de transportsector door droogte zijn. In een veerkrachtig transportsysteem (a) wordt voorafgaand aan een droogte alvast geanticipeerd (zoals grotere voorraden aanleggen), (b) worden tijdens de droogte adequate maatregelen getroffen (zowel beheerder/informatievoorzieners als de gebruiker) en (c) wordt na afloop sneller hersteld van de droogte. Door op alle drie de fronten te handelen, reduceert de impact. Vanzelfsprekend speelt de duur van de droogteperiode een rol. Als de droogte maanden aanhoudt, zal het aanleggen van grotere voorraden op een gegeven moment ook niet meer voldoende zijn. Verder is het goed om de “acceptatie” dat de rivier niet iedere dag even goed bevaarbaar is mee te nemen in het gehele (communicatie)proces.

Voor de volledigheid is het nodig te vermelden dat het ingrijpen in de rivier (met functie vaarweg) ook gevolgen heeft voor andere rivierfuncties (hoogwaterveiligheid, natuur, zoetwatervoorziening). Daarnaast heeft zeespiegelstijging een positief effect op de waterdiepte in het benedenstroomse deel van de Rijntakken. Een integrale én adaptieve aanpak is daarom nodig. In dit memo is voor nu op een rij gezet welke maatregelen met name gunstig zijn voor de bevaarbaarheid, zonder in te gaan op de integrale, adaptieve benadering.

## 2.2 Overzicht

### 2.2.1 Infrastructuur (vaarweg en constructies)

	Onderhoudsbaggerwerk	Kansrijk?
B.1	Oplossen van niet-baggerlocaties	
B.2	Aanpassing huidige bagger/stort praktijk	
B.3	Gerichter (proactief) baggeren en/of wijziging baggerreferentievlak	
B.4	Permanente baggerconstructies	
	<b>Opstuwing / verhang vergroten</b>	
O.1	Langsdammen	
O.2	Verlengen kribben	
O.3	Verruwing zomerbed	
	<b>Vaste laag en drempels</b>	

V.1	Verlagen van vaste laag en drempels (aansluitingen kanalen/havens)	
V.2	Oplossen problematiek benedenstrooms van vaste laag	
V.3	Tegengaan bodemerrosie met suppleties	
	<b>Kanaliserie</b>	
K.1	Stuwen aanleggen	
K.2	Functiescheiding door aanleg lateraalkanaal	
	<b>Afvoerregulering</b>	
A.1	Beleid afvoerdeling bij laag water	
A.2	Flexibele afvoerdeling	
A.3	Watervraag (verdringingsreeks)	
A.4	Afvoer bufferen (bovenstrooms)	
	<b>Robuustheid / Veerkracht</b>	
R.1	Opwaarderen / Stimuleren Neder-Rijn – Lek en Maas	

### 2.2.2 Vloot

	<b>Schepen</b>	
S.1	Minder diep stekende schepen	
S.2	Flexibelere vloot (van kleinere schepen)	
S.3	Voorzieningen voor een grotere vloot	

### 2.2.3 Logistiek

	<b>Logistieke keuzes</b>	
L.1	Synchromodaal / multimodaal / alternatief transport	
L.2	Alternatieve routekeuzes	
L.3	Betere spreiding over de dag/week, eerder of later vertrekken	
L.4	Voorraadbeheer	

### 2.2.4 Informatievoorziening

	<b>Informatievoorziening</b>	
I.1	Verbeteren verkeersbegeleiding	
I.2	Verbeteren waterstandsvoorspelling	
I.3	Verbeteren meest beperkende waterdiepte voorspelling	


Voor iedere categorie wordt hieronder beknopte achtergrondinformatie gegeven. Een inschatting wordt daarnaast gegeven van:

- Termijn:
  - o Kort: kan direct uitgevoerd worden
  - o Midden: kan binnen enkele jaren uitgevoerd worden
  - o Lang: duurt vele jaren tot decennia
- Locatie: toepasbaar op alle Rijntakken of een specifieke tak
- Effectiviteit voor scheepvaart: -- / - / 0 / + / ++
- Kosten<sup>1</sup>: € / €€ / €€€ (zeer lage kosten tot zeer hoge kosten)

<sup>1</sup> Voor nu is nog geen onderscheid gemaakt voor wie de kosten zijn.

## 2.3 Infrastructuur

### 2.3.1 (B) Baggeren

B.1 Oplossen van niet-baggerlocaties			
<b>Beschrijving</b>	<p>Veel MGD's worden geregistreerd op of rondom niet-baggerlocaties. Deze locaties zijn in het verleden ter hoogte van kabels en leidingen getekend en de oorsprong is soms onduidelijk.</p> <p>In de nieuwe strategie sedimentbeheer zullen deze locaties worden herzien. Kabels die te ondiep liggen zullen in de komende jaren worden verlegd/verdiept.</p>		
			
	<p><i>Figuur: Niet-baggerlocaties (rood) en de MGD-registraties (zwart) rondom Zaltbommel</i></p>		
<b>Termijn</b>	Kort	<b>Effectiviteit</b>	++ (decimeters)
<b>Locatie</b>	Rijntakken	<b>Kosten</b>	€
<b>Achtergrond</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strategie sedimentbeheer</li> <li>• Integraal Riviermanagement (IRM)</li> </ul>		

B.2 Aanpassing huidige bagger/stort praktijk			
<b>Beschrijving</b>	<p>Momenteel is de wijze waarop wordt gebaggerd en teruggestort bepaald door de eisen in het onderhoudscontract *) en de kosten om de vaargeul op diepte te houden. De huidige praktijk zou anders vormgegeven kunnen worden door meer of vaker te baggeren of anders terug te storten. Meer baggeren (meer overdiepte creëren) geeft wel meer hinder voor de scheepvaart en meer uitstoot van CO<sub>2</sub> en andere vervuilende stoffen, maar mogelijk hoeft je dan minder vaak op die locatie te baggeren. Momenteel zijn er weinig gegevens bekend over de condities waarop een aanzanding plaats vindt (hoe snel na baggeren weer een ondiepte ontstaat), en waarom het niet mogelijk is om in de huidige situatie meer te baggeren (er is bekend dat niet altijd overal aan de diepte-eis wordt voldaan). Gebaggerd sediment moet weer worden teruggestort in de rivier omwille van de bodemerosie. Mogelijk dat de wijze van terugstorten (locatie) verder geoptimaliseerd kan worden.</p> <p>Deze maatregel zou ervoor moeten zorgen dat de bodem ten tijde van lage afvoer aan de eis van de minimale vaardiepte voldoet.</p>		
<b>Termijn</b>	Kort	<b>Effectiviteit</b>	+ (centimeters)
<b>Locatie</b>	Rijntakken	<b>Kosten</b>	€
<b>Achtergrond</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Onderhoudscontract</li> <li>• Yossef et al (2008) → illustratie van numerieke baggermodule waarmee bijv. effect van ander stortstrategie of verandering in vaargeulbreedte op hoeveelheid baggerwerk kan worden bepaald.</li> </ul>		

\*) Specifieke richtlijnen en eisen zijn bij ons niet bekend, maar het gaat er hier om nog eens goed te kijken of hier winst te behalen valt, nu het nieuwe onderhoudscontract in de maak is.

<b>B.3 Gerichter (proactief) baggeren en/of wijziging baggerreferentievlak</b>			
<b>Beschrijving</b>	<p>Proactief baggeren: bij aankondiging van lage afvoeren of na hoge afvoeren of na triggers in multibeams/CoVadem alvast gaan baggeren. Ook andere slimme oplossingen kunnen door de baggeraar ingezet worden door het verbeteren van de aansluiting van het baggercontract met de werkelijke problemen voor de scheepvaart.</p> <p>Onderdeel hiervan vormt ook de toepassing van een flexibelere eis aan het baggerreferentievlak, zodanig dat de bodemhoogte meebeweegt met de rivierafvoer (m.a.w.: de bodem hoeft niet onder OLR-2,8 m (Waal) te zijn als de afvoer hoog is/er een grote waterdiepte is, maar moet op orde zijn zodra lage afvoeren worden verwacht).</p> <p>Op dit moment wordt een vaargeul met zekere breedte (zie het Rivierkundig Beoordelingskader (RWS, 2019a)) onderhouden. Wellicht dat het tijdens lage afvoer beter is om heel gericht te baggeren op een smaller deel van de vaargeul, waarmee in ieder geval voor een deel van de breedte voldoende diepte aanwezig is. Dit vraagt nog wel nadere analyse of hier winst te behalen valt. Dit betekent een wijziging*) in de definitie (i.e. dynamisch) van de breedte en diepte eisen (als functie van de afvoer) en daarmee wijziging van het baggerreferentievlak.</p>		
<b>Termijn</b>	Kort	<b>Effectiviteit</b>	++ (decimeters)
<b>Locatie</b>	Rijntakken	<b>Kosten</b>	€
<b>Achtergrond</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Onderhoudscontract + Legger Rijkswaterstaatswerken</li> <li>• Internationale afspraken met CCNR</li> </ul>		

\*) Uiteraard kan dit een contractuele uitdaging zijn, maar als het bijdraagt aan een veerkrachtiger systeem, de moeite waard.

<b>B.4 Permanente baggerconstructies</b>			
<b>Beschrijving</b>	<p>Een lokale permanente baggerconstructie (pomp/stofzuiger). Door baggeraars is dit eerder als oplossing genoemd voor het baggercontract van de Waal, maar de toepassing hiervan was destijds niet toegestaan (reden bij ons onbekend). Deze oplossing geeft waarschijnlijk een reductie in de hinder voor de scheepvaart, omdat er geen of minder baggerschepen in de vaargeul opereren (storten gebeurt veelal buiten de vaargeul).</p>		
<b>Termijn</b>	Midden	<b>Effectiviteit</b>	?
<b>Locatie</b>	Rijntakken	<b>Kosten</b>	€€
<b>Achtergrond</b>			

### 2.3.2 (O) Opstuwing / verhang vergroten

<b>O.1 Langsdammen</b>			
<b>Beschrijving</b>	<p>Door het vervangen van kribben door langsdammen kan de vaarweg (normaalbreedte) versmald worden tijdens lage afvoer waardoor meer opstuwing wordt verkregen tijdens lage afvoer. Momenteel wordt een evaluatie van de pilot langsdammen uitgevoerd, waarin ook bekeken wordt waar in de Rijntakken langsdammen effectief kunnen zijn.</p> <p>Vervanging kan toegepast worden op locaties waar nu kribben aanwezig zijn.</p> <p>In de Waal pilot zijn stenen dammen aangelegd met groot ruimtegebruik, alternatieven zoals wanden of schermen van andere materialen zijn beter geschikt in de smallere IJssel (zie ook Van der Mark et al, 2018).</p>		
<b>Termijn</b>	Midden	<b>Effectiviteit</b>	+ (centimeters)
<b>Locatie</b>	Boven-Waal, IJssel	<b>Kosten</b>	€€
<b>Achtergrond</b>	Evaluatie van de pilot langsdammen Deltares, nog niet afgerond.		

O.2		Verlengen kribben	
<b>Beschrijving</b>	<p>Door het verlengen van kribben wordt de vaarweg (normaalbreedte) versmald en daardoor extra opstuwing verkregen. Deze maatregel wordt geregeld genoemd als oplossing*) en daarom hier vermeld, maar wordt niet als duurzame oplossing gezien. Door het verlengen van kribben snijdt de rivier zich verder in, met alle gevolgen van dien (ook nadelig voor de scheepvaart). Alle beleid is nu juist gericht op het afremmen/stoppen van de bodemerosie.</p> <p>Lokaal een individuele krib aanpassen kan wel een oplossing zijn voor een structurele lokale ondiepte (e.g. bij Klaphek, Sloff, 2006).</p> <p>(NB Versmallen van de beleidsmatige vaargeul is benoemd onder B2)</p>		
<b>Termijn</b>	Midden	<b>Effectiviteit</b>	--
<b>Locatie</b>	Rijntakken, kribben	<b>Kosten</b>	€€
<b>Achtergrond</b>			

\*) Bijvoorbeeld:

- Reactie Jolco Brolsma (augustus 2020) op ingezonden vraag in NRC.  
[https://www.linkedin.com/posts/jolco-brolsma-555ab74b\\_waarom-kribben-activity-6705553469757030400-7CYW](https://www.linkedin.com/posts/jolco-brolsma-555ab74b_waarom-kribben-activity-6705553469757030400-7CYW)
- Scheepvaartkrant van 10 december 2020 waarin wordt gepleit voor een versmalling van de rivier: <https://www.scheepvaartkrant.nl/nieuws/asv-stuurt-zienswijze-integraal-rivier-management-direct-naar-de-minister>

O.3		Verruwing zomerbed	
<b>Beschrijving</b>	<p>Verruwen van het zomerbed zorgt voor opstuwing van de waterstand. Waarschijnlijk zal het nodig zijn het zomerbed met stenen ruwer te maken, en niet met grind. Een grindbodem onderdrukt de vorming van bodemvormen en zou netto een vergladding van de bodem kunnen opleveren.</p> <p>Grotere stenen dan grind maken het zomerbed ruwer. Nadelen hierbij zijn:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- als niet de hele riviertak bestort wordt maar slechts een deel, wordt de bestorting een obstakel voor scheepvaart bij voortgaande bodemerosie buiten de bestorting (vergelijkbaar met de vaste laag bij Nijmegen). Dit is dus enkel effectief als de gehele Rijn wordt bestort.</li> <li>- tijdens hoogwater is een ruwere bodem ongewenst,</li> <li>- vanuit natuur is het bestorten van een natuurlijke rivierbodem ongewenst,</li> <li>- het van bovenstrooms aankomende sediment dient te worden afgevangen, omdat anders alsnog ondieptes blijven optreden (barchan dunes) en ruwheid kan afnemen door opvulling.</li> </ul> <p>Een grovere bodem zou wel de bodemerosie eerder tot stilstand brengen en zou resulteren in minder hoge banken.</p>		
<b>Termijn</b>	Midden/Lang	<b>Effectiviteit</b>	-
<b>Locatie</b>	Rijntakken	<b>Kosten</b>	€€
<b>Achtergrond</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rijn op Termijn → Vastleggen hele Waal met steenbestorting</li> <li>• vd Zwaard (WL) → Invloed zand op de ruwheid van een stortsteen bed</li> </ul>		

### 2.3.3 (V) Vaste laag en drempels

V.1 Verlagen van vaste laag en drempels (aansluitingen kanalen/havens)			
<b>Beschrijving</b>	Vaste bodemelementen kunnen een beperking geven in de vaardiepte. Door te verlagen wordt een grotere diepgang mogelijk. Momenteel wordt bijvoorbeeld de vaste laag van Nijmegen geëgaliseerd (uitstekende stenen verwijderd/verplaatst). Nader onderzoek naar de kosten en baten en houdbaarheid is gewenst.		
<b>Termijn</b>	Kort	<b>Effectiviteit</b>	+ (centimeters)
<b>Locatie</b>	Waal/IJssel	<b>Kosten</b>	€
<b>Achtergrond</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>De Jong &amp; Nijenhuis (2020)</li> <li>Pilot vaste laag Nijmegen</li> </ul>		

V.2 Oplossen problematiek benedenstrooms van vaste laag			
<b>Beschrijving</b>	Direct benedenstrooms van de vaste lagen ligt een kuil. Dit zorgt voor een lagere opstuwing en voor grotere krachten op schepen bij het oplopen van de vaste laag. Door de kuil (deels) te dempen wordt een grotere diepgang mogelijk.  Benedenstrooms van de vaste lagen (aan de andere zijde van de kuil) bevindt zich een ondiepte (vaak MGD). Waarschijnlijk dat dempen van de kuil de aanzanding vermindert.		
<b>Termijn</b>	Kort	<b>Effectiviteit</b>	+ (centimeters)
<b>Locatie</b>	Waal	<b>Kosten</b>	€
<b>Achtergrond</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>De Jong &amp; Nijenhuis (2020)</li> <li>Pilot vaste laag Nijmegen</li> </ul>		

V.3 Tegengaan bodemerosie met suppleties			
<b>Beschrijving</b>	Vaste lagen en andere slechter erodeerbare locaties worden pas een probleem als de bodem rondom wel daalt. Door (o.m.) reguliere suppleties kan de bodemerosie tegengegaan worden. Dit gebeurt al jaren in Duitsland. Vragen als waar suppleren, hoeveel, met welke korreldiameter, hoe vaak, kosten moeten nog worden beantwoord. Evaluaties van twee uitgevoerde pilots in de Boven-Rijn zijn gaande.		
<b>Termijn</b>	Lang	<b>Effectiviteit</b>	+
<b>Locatie</b>	Waal/IJssel	<b>Kosten</b>	€€
<b>Achtergrond</b>	Pilots sedimentsuppleties Boven-Rijn 2016 en 2019 Becker, A (2020)		

### 2.3.4 (K) Kanalisatie

K.1 Stuwen aanleggen			
<b>Beschrijving</b>	Extra opstuwing kan verkregen worden door de aanleg van stuwen in de Waal (Yossef et al., 2020) of IJssel (TwynstraGudde, 2020), waarmee ondiepteproblemen worden opgelost. Voor de scheepvaart zouden grote schutsluizen nodig zijn, en is er een toename in de reistijd door de passeertijd van sluizen (alleen als stuwen gesloten zijn). Ook de impact op het riviersysteem is groot. Er is nog weinig bekend over effectiviteit, dimensionering en impact, nader onderzoek nodig. Geleerd kan worden van bestaande stuw-complexen en de historische studies.		
<b>Termijn</b>	Lang	<b>Effectiviteit</b>	++
<b>Locatie</b>	Waal/IJssel	<b>Kosten</b>	€€€
<b>Achtergrond</b>	Yossef et al. (2020)		

K.2 Functiescheiding door aanleg lateraal kanaal			
<b>Beschrijving</b>	Door de aanleg van een kanaal (zoals Julianakanaal of Lateraalkanaal) kan een nieuwe vaarweg worden gecreëerd voor (diepe) schepen. Een dergelijke <i>bypass</i> wordt geopperd voor de Boven-IJssel (TwynstraGudde, 2020).		
<b>Termijn</b>	Lang	<b>Effectiviteit</b>	++
<b>Locatie</b>	IJssel	<b>Kosten</b>	€€€
<b>Achtergrond</b>			

### 2.3.5 (A) Afvoerregulering

A.1 Beleid afvoerverdeling bij laag water			
<b>Beschrijving</b>	De afvoerverdeling op de Rijntakken bij lage afvoeren wordt gestuurd door de bodemhoogte en stuw Driel. De afvoer heeft direct impact op de waterdiepte. Er kunnen hier keuzes gemaakt worden meer water een richting op te sturen (ten koste van een andere tak). Deze afvoer gaat wel ten koste van andere riviertakken die daardoor mogelijk nadelen ondervinden.		
<b>Termijn</b>	Kort	<b>Effectiviteit</b>	+
<b>Locatie</b>	Waal/IJssel	<b>Kosten</b>	€
<b>Achtergrond</b>			

A.2 Flexibele afvoerverdeling			
<b>Beschrijving</b>	Door flexibel om te gaan met de afvoerverdeling kan op bijvoorbeeld dagbasis geprioriteerd worden in de verschillende functies van de rivieren. In de winter kunnen bijvoorbeeld andere keuzes gemaakt worden dan in de zomer.		
<b>Termijn</b>	Kort	<b>Effectiviteit</b>	0
<b>Locatie</b>	Waal/IJssel	<b>Kosten</b>	€
<b>Achtergrond</b>	Koppeling maken met ontwikkelingen Slim Water Management		

A.3 Watervraag (verdringingsreeks)			
<b>Beschrijving</b>	Onttrekkingen alleen bij rivierenafvoeren of tijden van de dag dat de schade voor scheepvaart beperkt is. Bijvoorbeeld de hogere afvoer door het ARK t.b.v. peilopzet IJsselmeer (maatregel onderdeel van klimaatbestendige zoetwatervoorziening hoofdwatersysteem) vooral in de nacht? Of inzet van ARK bij een afvoer van 1000 m <sup>3</sup> /s als de voorspelling is dat de afvoer daalt naar 800 m <sup>3</sup> /s (immers schade is groter bij lagere afvoeren).		
<b>Termijn</b>	Kort	<b>Effectiviteit</b>	+
<b>Locatie</b>	Waal/IJssel	<b>Kosten</b>	€
<b>Achtergrond</b>			

A.4 Afvoer bufferen (bovenstrooms)			
<b>Beschrijving</b>	Door bovenstrooms (bijv. bij de Bodensee) te bufferen kan water tijdens droogte ingezet worden om de afvoer te verhogen. Dit vraagt om controle bij de bron en een zeer grote buffer.		
<b>Termijn</b>	Lang	<b>Effectiviteit</b>	?
<b>Locatie</b>	Waal/IJssel	<b>Kosten</b>	€€€
<b>Achtergrond</b>	Lijrens et al (2000). Bergen van water; Waterbeheer als topsport		



## 2.3.6 (R) Robuustheid / Veerkracht

R.1 Opwaarderen en stimuleren Neder-Rijn – Lek en Maas			
<b>Beschrijving</b>	Door omvaarroutes op te waarderen, te verbeteren of te stimuleren, vermindert de druk op andere riviertakken. Zo kan de Neder-Rijn – Lek en Maas (west-oost corridor) gebruikt worden als alternatief voor de Waal in tijden van droogte. Als de omvaarroutes goede alternatieven zijn, is het systeem veerkrachtiger. Momenteel is een andere route kiezen via de gestuwde takken niet mogelijk voor alle scheepstypen (andere vaarwegclassificaties), maar door op te waarderen kunnen de gestuwde parallelle takken mogelijk goed worden ingezet.		
<b>Termijn</b>	Lang	<b>Effectiviteit</b>	+
<b>Locatie</b>	Waal/IJssel	<b>Kosten</b>	€€€
<b>Achtergrond</b>			

## 2.4 Vloot

### 2.4.1 (S) Schepen

S.1 Minder diep stekende schepen			
<b>Beschrijving</b>	In een klimaat met afnemende rivierafvoeren is de voortdurende schaalvergroting van de vloot een trend die de klimaat-robustheid van de binnenvaart bedreigt. Onderzoek naar minder diep stekende schepen gebeurt o.a. in het Horizon2020-project Novimove, dat dit jaar (juni 2020) is gestart. BASF laat een schip bouwen dat ook bij heel laag water via de Rijn de fabrieken in Ludwigshafen kan blijven bevoorraden. Het is de vraag bij wie de investering ligt en of een goede businesscase gemaakt kan worden.		
<b>Termijn</b>	Lang	<b>Effectiviteit</b>	++
<b>Locatie</b>	Waal/IJssel	<b>Kosten</b>	€€€
<b>Achtergrond</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CCR (2020), H 2.2</li> <li>• H2020 Novimove</li> </ul>		

S.2 Flexibelere vloot (van kleinere schepen)			
<b>Beschrijving</b>	Grotere capaciteit van kleine schepen, zodat kan worden overgestapt op kleinere (en dus meer) schepen ten tijde van droogte. Dit vraagt behoud van een brede vloot (stimuleer behoud van het kleine schip). Wederom is het de vraag bij wie die investering ligt en of een goede businesscase gemaakt kan worden, het rijk is geen beheerder van de vloot.		
<b>Termijn</b>	Midden	<b>Effectiviteit</b>	+
<b>Locatie</b>	Waal/IJssel	<b>Kosten</b>	€€
<b>Achtergrond</b>			

S.3 Voorzieningen voor een grotere vloot			
<b>Beschrijving</b>	Tijdens droogte is de scheepvaartintensiteit groter. Dit levert problemen bij de infrastructuur (denk aan volle kades, volle ligplaatsen, lange wachttijden). De voorzieningen zouden voldoende flexibel moeten zijn om deze piekintensiteit op te vangen. Er kan niet ontworpen worden op een piekbelasting die maar eens in de zoveel tijd voorkomt, flexibele oplossingen hebben daarom de voorkeur.		
<b>Termijn</b>	Midden	<b>Effectiviteit</b>	+
<b>Locatie</b>	Rijntakken	<b>Kosten</b>	€€
<b>Achtergrond</b>			

## 2.5 Logistiek

### 2.5.1 (L) Logistieke keuzes

L.1 Synchronodaal / multimodaal / alternatief transport			
<b>Beschrijving</b>	De grootste ondieptes kunnen vermeden worden door delen van de reis met een andere modaliteit af te leggen. Dit kan van tevoren gepland worden, of tijdens de reis besloten worden. Ook de gehele reis kan tijdens droogte met ander transport worden vervoerd. Er moet dan wel ruimte zijn binnen de andere modaliteiten om de ladingstroom te kunnen vervoeren *). Dit vraagt beschikbaarheid/aanleg van overslagterminals op strategische locaties. Niet mogelijk voor elk type lading.		
<b>Termijn</b>	Midden	<b>Effectiviteit</b>	0
<b>Locatie</b>	Rijntakken	<b>Kosten</b>	€€
<b>Achtergrond</b>			

\*) De droogte van 2018 heeft duidelijk gemaakt dat weg en spoor de grote ladingstroom over water niet kunnen opvangen, maar er zijn wel voorbeelden waarbij tijdelijke inzet van trucks werkt.

L.2 Alternatieve routekeuzes			
<b>Beschrijving</b>	Doorgaans gaat transport altijd via dezelfde route, terwijl het soms loont om een andere route te kiezen die bijvoorbeeld langer is, maar wel sneller of goedkoper of schoner. Voor sommige reizen is het aantal keuzemogelijkheden beperkt, maar in tijden van droogte als toch al met kleinere schepen wordt gevaren ontstaan er wellicht extra mogelijkheden.		
<b>Termijn</b>	Kort	<b>Effectiviteit</b>	+
<b>Locatie</b>	Rijntakken	<b>Kosten</b>	€
<b>Achtergrond</b>	Digital Twin Vaarwegcorridor – onderzoek Deltares et al		

L.3 Betere spreiding over de dag/week, eerder of later vertrekken			
<b>Beschrijving</b>	Gedurende de dag en de week is er grote variatie in de scheepvaartintensiteit. Een betere spreiding, en dus ook 24-uurs verkeersbegeleiding/informatievoorziening, kan de intensiteit verkleinen, waardoor de vlotheid toe neemt.  Door reisplanning beter af te stemmen op waterstandsverwachtingen, kan meer lading worden meegenomen. Dit betekent bijvoorbeeld net wat eerder of later vertrekken, op een moment dat de verwachte kritieke waterdiepte op de reis groter is.		
<b>Termijn</b>	Midden	<b>Effectiviteit</b>	+
<b>Locatie</b>	Rijntakken	<b>Kosten</b>	€€
<b>Achtergrond</b>			

L.4 Voorraadbeheer			
<b>Beschrijving</b>	Bij een verwachte droogte kan de eindgebruiker/industrie alvast proactief voorraden aanvullen, zodat er voldoende buffer aanwezig is voor tijden dat er minder lading kan worden aangevoerd. Een grotere buffer vraagt om extra opslagterreinen. Als de droogte lang aanhoudt, kan uiteraard de buffer alsnog te klein worden.		
<b>Termijn</b>	Midden	<b>Effectiviteit</b>	+
<b>Locatie</b>	Rijntakken	<b>Kosten</b>	€€€
<b>Achtergrond</b>			

## 2.6 Informatievoorziening

### 2.6.1 (I) Verbeteren informatievoorziening

I.1 Verbeteren verkeersbegeleiding			
<b>Beschrijving</b>	<p>Optimale benutting van de vaarweg door betere verkeersbegeleiding en informatievoorziening. Door diepe schepen over de erosiekuil te geleiden en lege schepen over het ondiepe deel van de vaarweg kan de volledige breedte benut blijven. Door Via Donau worden bijvoorbeeld regulier multibeam van de knelpunten op de Donau gepubliceerd. Ook kunnen virtuele boeien of bebakening (alleen zichtbaar op de ECDIS in de stuurhut) gebruikt worden om snel te reageren op de omstandigheden, hiermee wordt geëxperimenteerd op de Waddenzee. Juridische verankering van allerlei smart shipping ontwikkelingen is een bekend aandachtspunt.</p> <p>Maatregelen als eenrichtingsverkeer of olopverboden kunnen mogelijk flexibeler worden ingezet (maatwerk, alleen indien nodig).</p>		
<b>Termijn</b>	Midden	<b>Effectiviteit</b>	+
<b>Locatie</b>	Rijntakken	<b>Kosten</b>	€€
<b>Achtergrond</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>RWS (2008)</li> </ul>		

I.2 Verbeteren waterstandsvoorspelling			
<b>Beschrijving</b>	<p>Actuele metingen en toekomstige waterstandsverwachtingen (dagen vooruit) worden momenteel gebruikt om reisplanning te maken en de hoeveelheid lading te bepalen. Vanuit de sector wordt wel gemeld dat de verwachtingen te onnauwkeurig zijn. Voorspelmodellen kunnen waarschijnlijk verbeterd worden, zodat het transport verder kan worden geoptimaliseerd.</p> <p>Er bestaat ook een behoefte aan langere-termijn verwachtingen (enkele weken vooruit). De eindgebruiker is dan bijvoorbeeld een verlader of bevrachter, die het voorraadbeheer hierop kan afstemmen of maatregelen kan nemen t.b.v. alternatief transport / extra schepen.</p>		
<b>Termijn</b>	Midden	<b>Effectiviteit</b>	+
<b>Locatie</b>	Rijntakken	<b>Kosten</b>	€€
<b>Achtergrond</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Van der Mark et al (2020) – Verwachting waterdiepte Rijntakken</li> <li>IMPREX</li> </ul>		

I.3 Verbeteren meest beperkende waterdieptevoorspelling			
<b>Beschrijving</b>	<p>Uiteindelijk zijn niet waterstanden bij pegels, maar de ondiepste padbreedte op het te varen traject maatgevend en bepalend voor een schip. Verschillende ontwikkelingen op dit vlak zijn gaande, en helpen bij het beter benutten van de beschikbare hoeveelheid water: MGD 2.0, Verwachte MGD (Digitale Rivier), CoVadem.</p>		
<b>Termijn</b>	Midden	<b>Effectiviteit</b>	+
<b>Locatie</b>	Rijntakken	<b>Kosten</b>	
<b>Achtergrond</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>MGD 2.0 (RWS, 2019b)</li> <li>CoVadem</li> <li>Belemmerende Waterdiepte – Digitale Rivier</li> </ul>		

### 3 Referenties

- Becker, A. (2020): Tweede suppletie Boven-Rijn: tussenevaluatie hoogwater 2020. Deltares-memo 11205234-010-ZWS-0001.
- CCR (2020). Discussienota "Act now!" over laagwater en de gevolgen daarvan voor de Rijnvaart. Versie 1.0 van 17 juni 2020.
- De Jong en Nijenhuis (2020). Probleembeschrijving en oplossingsrichtingen voor de ondiepte bij St. Andries. Deltares memo dd 3 sept 2020 met kenmerk 11205271-009-ZWS-0001.
- Ecconet (2010 – 2012): diverse rapporten: <https://www.tmlleuven.be/nl/project/ecconet>
- IMPRES (2015-2019), diverse rapporten: <https://www.impres.eu/>
- Litjens, G., W. Helmer, A. van Winden, W. Overmars (2000). Bergen van water; Waterbeheer als topsport, Rapport Bureau Strooming iov WWF. ISBN 90-74595-16-2.
- MIRT (2020). Meerjarenprogramma infrastructuur, ruimte en transport
- RWS (2008) – Maatregelen catalogus scheepvaart
- RWS (2019a). Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren. Versie 5.0. 4 juni 2019.
- RWS (2019b). MGD 2.0 - Minst Gepeilde Diepte, RWS Informatie. Concept versie 0.96, dd 15 maart 2019.
- Sloff (2006). Vaarwegverbetering Vianen: rivierkundige berekeningen. WL | Delft Hydraulics rapport met kenmerk Q4200.
- TwynstraGudde (2020). Handlingsperspectieven droogte IJssel en Twentekanal. In opdracht van Provincie Overijssel. Versie 1.1.
- Van der Mark, R, I. Niesten, en K. Sloff (2018). Advisering mbt scheepvaartknelpunten in de Boven-IJssel irt toekomstig rivierbodembeheer. Deltares memo d.d. 28 november 2018 (projectnr 11202191).
- Van der Mark, R, M. den Toom, R. van der Wijk, K. Sloff (2020). Verwachting waterdiepte Rijntakken. Deltares-rapport met kenmerk 11205272-006-ZWS-0008.
- Van der Zwaard, J.J. (1974). Ruwheidsonderzoek Waal: invloed van bodemtransport op de ruwheid van een vaste laag. WL | Delft Hydraulics rapport met kenmerk M0988 (delen 2a en 2b).
- Van Meijeren, J. & T. Groen (2010). Impact of Climate Change on the Competitive Position of Inland Waterways Transport. Knowledge for Climate. Rapport TNO Mobility and Logistics. Versie 29 juli 2010.
- WL | Delft Hydraulics (1998). De Rijn op Termijn. Conceptrapportage met bundeling van (concept) verslaglegging van de vijf deelstudies, rapport met kenmerk Q2400:
1. doordachte keus: verantwoording van de keuze van de oplossingsrichting en integrale evaluatie daarvan;
  2. veilig nat: benodigde maatregelen om de veiligheid te waarborgen;
  3. leven langs rivieren: de inrichting van het IJsseldal en de Nederrijn;
  4. kanaal in de Waal: maatregelen om de bevaarbaarheid te verbeteren
  5. verdeel en beheers: verdeling van de water- en sedimentafvoer.
- Yossef, M.Y., H.R.A. Jagers, S. van Vuren, en A. Sieben (2008). Innovative techniques in modelling large-scale river morphology. River Flow 2008.

Yossef, M., R. van der Wijk, M. Wolters, N. Dasburg (2019). Capacity of the inland waterway transport system - case study Regulated Waal; Inventory of research questions and a roadmap. Deltares rapport met kenmerk 112007 41-080-HYE-0003.

**Digitale Rivier (vertrouwelijke rapporten):**

Urban, A. (2018). Predicting the shallowest river locations. Rapport Hal24K dd 12 dec 2018.

Quartel, S. (2019). MGD Voorspelmodel Waal. RWS Informatie – Persoonsvertrouwelijk, RWS memo dd. 9 jan 2019.

Achoui, D. (2020). Belemmerende Waterdiepte. Rapport Hal24K dd 13 maart 2020.

Paarlberg, A., J.H. Beks, B. Bultink (2020). Experiment Belemmerende waterdiepte Waal. HKV memo, dd 13 mei 2020 met kenmerk PR4136.10.

**CoVadem:**

[www.coVadem.org](http://www.coVadem.org)

Van der Mark, C.F. & M. Lemans (2020). Operational 2D water depth prediction using echo sounder data of inland ships. Proc River Flow 2020. ISBN 978-0-367-62773-7.