



# memo

Gevoeligheidsanalyse: Impact van Bodemverandering  
Rijntakken op Zoetwatervoorziening 2050

op basis van analyses en berekeningen van Marjolein Mens, Bennie  
Minnema, Jurjen de Jong (Deltares)

## Inhoud

|    |                                                                |    |
|----|----------------------------------------------------------------|----|
| 1. | <a href="#">Inleiding</a>                                      | 2  |
| 2. | <a href="#">Morfologische Verandering Nederlandse rivieren</a> | 3  |
| 3. | <a href="#">Opzet Gevoeligheidsanalyse</a>                     | 5  |
|    | 3.1 Doelstelling                                               | 5  |
|    | 3.2 Beperkingen en Uitgangspunten                              | 5  |
|    | 3.3 Methodologie                                               | 7  |
| 4. | <a href="#">Eerdere Analyses</a>                               | 8  |
| 5. | <a href="#">Uitkomsten Gevoeligheidsanalyse</a>                | 10 |
|    | 5.1 Geldigheidsgebied                                          | 10 |
|    | 5.2. Uitkomsten Analyse                                        | 11 |
|    | 5.3 Vergelijking met Eerdere Analyses                          | 14 |
| 6. | <a href="#">Conclusies</a>                                     | 18 |
| 7. | <a href="#">Aanbevelingen</a>                                  | 18 |

## 1. Inleiding

Het eerste Deltaprogramma werd aangeboden aan het kabinet in 2011. Het baseerde zich op de klimatologische KNMI-scenario's van 2006 die voor zichtjaren 2050 en 2085 een prognose geven. De prognoses betreffen onder andere veranderingen in temperatuur, verdamping, neerslag, afvoerdebieten bij Lobith en Maas en zeespiegelstijging, en de doorwerking daarvan op (hoog-)waterstanden en grondwaterstanden in het gehele land.

De behoefte om ook de sociaaleconomische ontwikkeling te integreren in de prognoses werd toen al gevoeld. Voor de mogelijke invloed van sociaaleconomische ontwikkelingen – o.a. bevolkingsgroei - op het gebruik van land, water en ruimte tot 2050 bestond reeds de studie Welvaart en leefomgeving (WLO) uit 2006 en besloten werd daarvan uit te gaan.

Het tweede Deltaprogramma, Deltaprogramma 2012, was reeds gebaseerd op een combinatie van KNMI-scenario's en WLO-scenario's – de klimatologische as en de sociaaleconomische as. Deze combinatie wordt aangeduid als de Deltascenario's.

Daar kwam in de jaren erna geen verandering in. Zo zijn de Deltabeslissingen van 2014 gebaseerd op de Deltascenario's.

Wel hebben zowel de Deltascenario's als de WLO-scenario's een update ondergaan. Zo zijn de KNMI-'06 scenario's opgevolgd door de KNMI-'14 scenarios en de WLO'06-prognoses zijn opgevolgd door de WLO'15 prognoses. Dat leidde uiteraard ook tot nieuwe Deltascenario's.

### *Verwaarloosde parameter*

Alhoewel de Deltascenario's wel rekening houden met bodemdaling van landelijke en stedelijke gebieden, is verandering van de Nederlandse rivierbodem als gevolg van sedimentatie of erosie nooit eerder beschouwd in ten behoeve van het Deltaprogramma gedane analyses met het Nationaal Water Model. Het kan in die zin als een "verwaarloosde parameter" worden beschouwd. Altijd is binnen het Deltaprogramma de bodemligging van onze rivieren in de zichtjaren (meestal 2050 en 2085) als identiek aangenomen aan die van het Referentiejaar (nu 2020). Desondanks is bekend dat de Nederlandse rivieren aan substantiële lange termijn morfologische verandering blootstaan (Visser, 2000). Meest pregnant is de al decennia lang voortgaande erosie van de bovenloop van de Waal. Dit heeft invloed op absolute waterstanden maar, belangrijker nog, ook op de afvoerverdeling van water over Waal, Nederrijn en IJssel.

Hoewel er sprake is van een beleidsvoorkeur om deze morfologische veranderingen een halt toe te roepen, heeft dat nog niet geleid tot een

uitgewerkt laat staan bewezen maatregelpakket. De ontwikkeling van onze rivierbodem blijft een open kwestie<sup>1</sup>.

**Rijkswaterstaat Water,  
Verkeer en Leefomgeving**

Als onderdeel van de in mei 2020 uitgevoerde berekeningen voor het Deltaprogramma Zoetwater (release 2.2.4.0. van het Nationaal Water Model) is daarom een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd uitgaande van de premisse dat de historische bodemdaling ook in de toekomst blijft optreden en doorzet tot het jaar in 2050. Het in kaart brengen van de gevolgen van deze daling op de Nederlandse zoetwatervoorziening, met name als gevolg van de veranderende afvoerverdeling, is daarvan het doel en daarvan doet deze memo verslag.

**Datum**  
2 oktober 2020

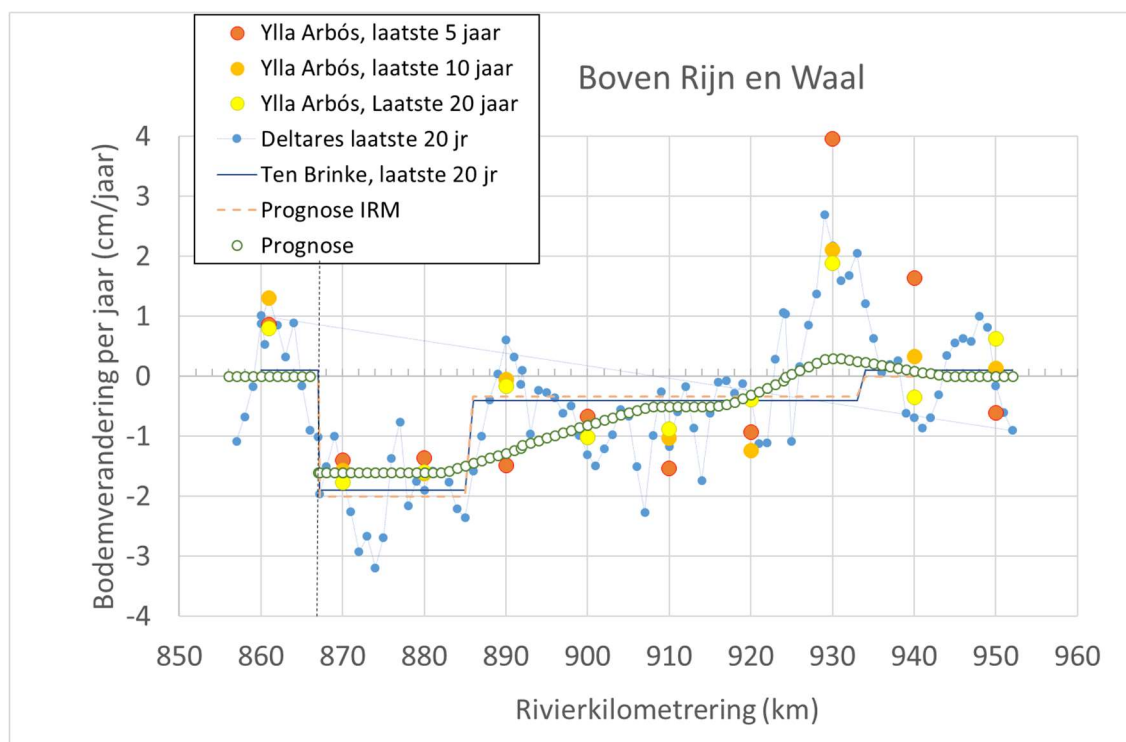
## 2. Morfologische Verandering Nederlandse rivieren

De ontwikkelingen die aan de lange termijn morfologische veranderingen ten grondslag liggen zijn onder andere een verminderde sedimentvracht uit Duitsland maar ook uitgebreid baggerwerk voor commerciële doeleinden (daar kwam in 1991 goeddeels een einde aan) en riviernormalisatie (Visser, 2000). Onder andere Ruimte voor de Riviermaatregelen leidden tot een verruiming van de rivier en daardoor tot een verminderde verdieping (Visser, 2000). Deze rapportage baseert zich op recente trendanalyses van met name Ylla Arbos en Ten Brinke en de analyse daarvan uitgevoerd in het rapport Prognose bodemligging Rijntakken 2020-2050 (Sloff, 2019). Daarin wordt een door expert judgement ingegeven “gewogen middeling” toegepast op de verscheidene door Arbos en Ter Brinke uitgevoerde trendanalyses.

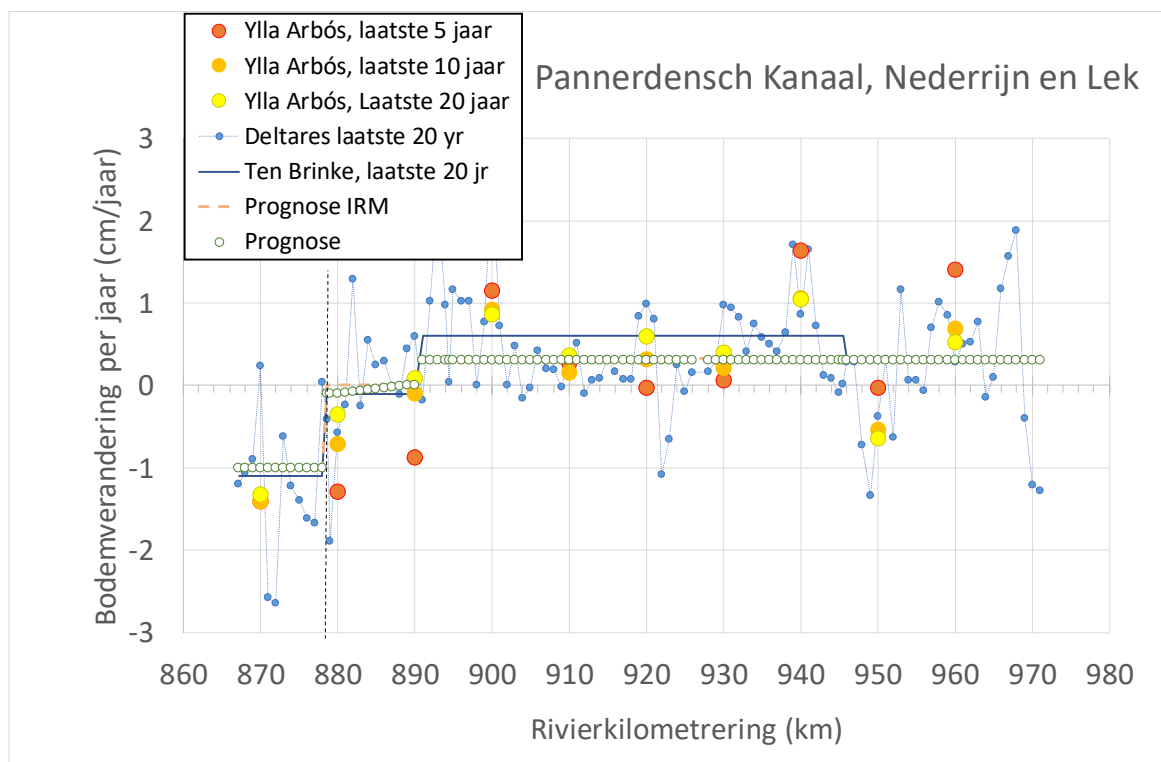
Onderstaande figuren geven de prognose van trends, en de relatie met de waargenomen trends van de andere studies.

---

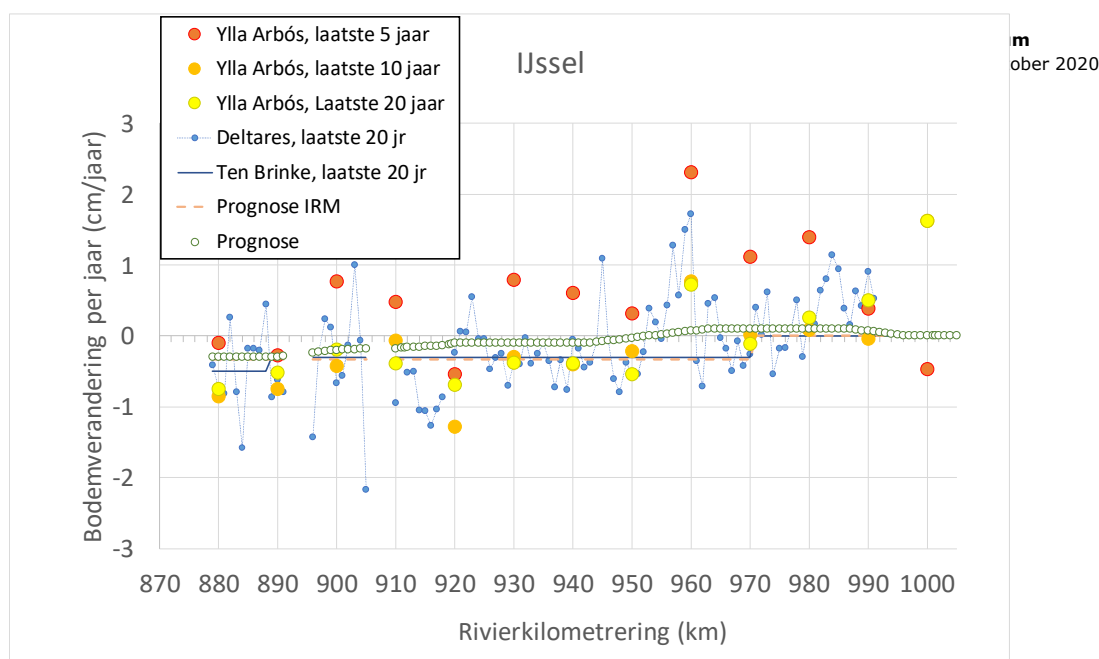
<sup>1</sup> De morfologische ontwikkeling van onze rivieren en de gevolgen daarvan op onder andere watervruchtbaarheid en scheepvaart mogen zich overigens wel verheugen in een grote belangstelling vanuit de toegepaste wetenschap (RiverCare, Rivers2Morrow) en het RWS-programma Integraal RivierManagement.



Figuur 1 Trends in bodemverandering Bovenrijn en Waal: prognose (gebruikt voor deze analyse) en waargenomen trends en prognose uit recente studies voor R2M en IRM. (Sloff, 2019)



Figuur 2 Trends in bodemverandering Pannerdensch Kanaal, Nederrijn en Lek: prognose (gebruikt voor deze analyse) en waargenomen trends uit recente studies voor R2M en IRM. (Sloff, 2019)



Figuur 3 Trends in bodemverandering IJssel: prognose (gebruikt voor deze analyse) en waargenomen trends uit recente studies voor R2M en IRM (Sloff, 2019)

### 3. Opzet Gevoeligheidsanalyse

#### 3.1 Doelstelling

**Hoofddoelstelling:** het verkennen van de mogelijke impact van veranderde bodemligging op de zoetwatervoorziening in Deltascenario Stoom2050 door middel van een berekening met de zoetwatertrein van het NWM.

**Nevendoelstelling:** De uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse vergelijken met al uitgevoerde analyses van meer voorlopige aard, te weten analyses op basis van metingen (Tönis, 2019), extrapolatie van bestaande trends (Van Walsem) en een quick-scan waarin een gevoeligheidsanalyse wordt gedaan van hypothetische afvoer veranderingen (Hydrologic).

#### 3.2 Uitgangspunten en beperkingen

- Uitgangspunt zijn de in (Sloff, 2019) gevonden bodemtrends tot 2050.
- De berekeningen gaan uit van Deltascenario Stoom. Het Stoom2050 scenario geeft de bovenbandbreedte van mogelijke ontwikkelingen vanuit het perspectief van knelpunten in de zoetwatervoorziening, aangezien de watervraag in dit scenario sterk toeneemt terwijl de rivierafvoer afneemt.

- De vergelijking wordt gemaakt tussen de volgende berekeningen:
  - Referentieberekening 2020 (REF2020)
  - Scenario Stoom 2050 met onveranderde bodem (S2050)
  - Stoom 2050 met veranderde bodem (S2050rivmorf)
- De vergelijking beperkt zich tot de Rijntakken en tot het effect op watertekort in het voorzieningsgebied van het IJsselmeer / Markermeer, hierna genoemd IJsselmeerregio. Zie Figuur 4.



*Figuur 4 Kaart met zoetwaterregio's en het interessegebied IJsselmeerregio, bestaande uit vijf zoetwaterregio's.*

### 3.3 Methodologie

#### Gebruikte rekenmodules

De “zoetwatertrein” van het Nationaal Water Model release 2.2.4.0 is gebruikt:

1. LHM zonder zout
2. LSM zonder zout
3. NDB
4. LHM met zout
5. LSM met zout

#### Afleiding afvoer

1. De prognose van de bodemtrend (Deltares, 2019) is vermenigvuldigd met 32 jaar.
2. De bodemhoogteverandering is in het bestaande SOBEK-model (sobek-rijn-j18\_5-v1) door gevoerd, het effect hiervan op de afvoerverdeling is berekend (Deltares, De Jong, 2020).
3. Op basis van de veranderingen in de SOBEK-afvoerverdeling zijn voor het LHM-Distributie Model (DM) de verdeelsleutels van knoop 6020 en knoop 6031 (de interpolatietabellen met Lobithafvoeren en fracties daarvan via de benedenstroomse takken van deze knopen) aangepast.
4. De rivierbodemhoogten in de MODFLOW river package zijn aangepast door de verandering (de bodemtrend (cm/jaar) keer 32 jaar) bij de bestaande LHM-bodemhoogten<sup>2</sup> op te tellen.
5. De rivierpeilen in de MODFLOW river package zijn aangepast, maar wel proportioneel aan de hand van de mate waarin de in het SOBEK-model de rivierpeilen de bodemtrend volgen voor een gemiddeld afvoerdebiet van 1800 m<sup>3</sup>/s.
6. In het LSM Light model zijn de dwarsprofielen in hun geheel in de verticaal verschoven op basis van genoemde bodemhoogteverandering. Dit is een benadering, omdat in werkelijkheid grotendeels alleen het zomerbed in hoogte zal

---

<sup>2</sup> Het huidige LHM bevat bodemhoogten van omstreeks 2005. Er is weliswaar een bodemhoogtekaart van 2018 beschikbaar, toch zijn de bodemhoogten in het bestaande MODFLOW-model voor de Stoom2050-berekeningen niet eerst geactualiseerd, omdat het belangrijk is de berekeningsresultaten eenduidig te kunnen vergelijken met reeds uitgevoerde scenario-berekeningen waarbinnen de bodemhoogte-actualisatie niet heeft plaatsgevonden.

veranderen; genoemde aanpak was binnen de randvoorwaarden van het project het maximaal haalbare.

Rijkswaterstaat Water,  
Verkeer en Leefomgeving

De bodem is opgesteld door de door Sloff gevonden bodemtrends te extrapoleren tot 2050 en vervolgens te superponeren op een bestaand, recent model van de Rijntakken. Daarvoor is een bestaand 1-Dimensionaal Model van Sobek gekozen.

Datum  
2 oktober 2020

Nieuwe Bodem = Oude Bodem + Trends(Sloff)\*32 jaar.

Vervolgens zijn daarmee de *veranderingen* van de afvoerverdeling berekend. Deze veranderde afvoeren zijn vervolgens opgelegd op het in het NWM bestaande LSM-Light model, dat een bodem hanteert van ca. 2010.

Onder andere bij stap 2 en stap 5 is een vereenvoudigde aanpak toegepast – binnen de randvoorwaarden waaronder deze analyse tot stand kwam was niet meer haalbaar. De in het LHM gebruikte bodem al dateert van ca. 2005. Dat betekent dat tussen 2005 en het heden al een verdere afvoerverdelingsverschuiving heeft plaatsgevonden. Daarom, en natuurlijk gezien de primaire onzekerheid van de bodemontwikkeling de komende dertig jaar, fungeert de onderhavige analyse uitsluitend als een indicatieve verschilanalyse.

Zie voor meer informatie over de afleiding van profielen en de bepaling van de gewijzigde afvoerverdeling (De Jong, 2020).

## 4. Eerdere Analyses

### Analyse Tönis en Kwartel (2019)

Tönis en Kwartel beschouwden de afvoerverdeling op basis van waarnemingen vanuit schepen. Men concludeert:

- In een periode van 29 jaar gaat er ca. 40 m<sup>3</sup>/s minder naar het Pannerdensch Kanaal bij een  $Q_{BR} (Q_{Lobith}) = 1.020 \text{ m}^3/\text{s}$
- In een periode van 29 jaar gaat er ca. 40 m<sup>3</sup>/s minder naar de IJssel bij een  $Q_{BR} (Q_{Lobith}) = 1.020 \text{ m}^3/\text{s}$

De Nederrijn speelt geen grote rol in deze “afvoercompetitie tussen Waal en IJssel” (Tönis).

### Analyse Van Walsem (2019)

Trends uit 2000 – 2015 werden geëxtrapoleerd en gesuperponeerd op het zomerbed van de Rijntakken (het model Sobek-rijn-j18\_5\_v1, waarin verwerkt een bodemligging van 2017). Conclusies:

- In de periode 2017-2050 (33 jaar) gaat er ca. 35 m<sup>3</sup>/s per jaar meer debiet naar de Waal bij een debiet van 800 m<sup>3</sup>/s.
- Daarvan wordt 29 m<sup>3</sup>/s onttrokken aan de IJssel en slechts 6 m<sup>3</sup>/s aan de Nederrijn / Lek.

## Quick Scan met Model QWAST (2019)

Rijkswaterstaat Water,  
Verkeer en Leefomgeving

**Datum**  
2 oktober 2020

In 2019 werden in opdracht van Deelprogramma Zoetwater de gevolgen van de wijziging van de afvoerverdeling op de Nederlandse zoetwatervoorziening onderzocht (Hydrologic, 2019). Hiervoor werd gebruik gemaakt van QWAST gevoed met randvoorwaarden en watervragen afkomstig uit de honderdjarige reeks die ook in het Nationaal Water Model wordt doorgerekend. Deze quick scan onderscheidt zich van de vorige twee analyses in die zin dat de interesse niet zozeer uitgaat naar het schatten van de afvoerverdeling als zodanig maar vooral naar de impact daarvan op de Nederlandse zoetwatervoorziening. Gebruikt werden het quickscan-instrument QWAST (Gijsbers et al., 2017) en de Landbouwschademodule (Visser, 2019). In plaats van naar daadwerkelijke bodemontwikkelingen te kijken nam deze analyse verschillende afvoerverschuivingen als uitgangspunt – namelijk 1,2,5 en 10% meer afvoer op de Waal respectievelijk. Vervolgens werden door de gevolgen op twee key performance indicators, te weten watertekort op het IJsseltekort en landbouwschade, bepaald.

### Hoofdconclusies:

- In de huidige klimatologische en socio-economische omstandigheden (Referentie 2017) kunnen verschuivingen van tot 5% meer Waalafvoer (ten koste van de IJssel) goed opgevangen worden zonder een toename van watertekorten en landbouwschade in het voorzieningsgebied van IJsselmeer/Markermeer. Pas bij een verschuiving van 10% ontstaat er een significant waterkort, in de droogste jaren 1921 en 1976.
- In het zichtjaar 2050 is dat onder het scenario Stoom anders. De watertekorten stijgen fors bij toenemende verschuiving van de afvoerverdeling. Waar bij onveranderde afvoerverdeling in vijf van de 100 gesimuleerde jaren significante droogteschade optreedt, is dat bij 10% verschuiving van de afvoerverdeling opgelopen tot 10 van de 100 jaren. In die jaren is het watertekort als gevolg van de afvoerverdeling ruim verdrievoudigd ten opzichte van de oorspronkelijke situatie.

## Beschouwing

Opvallend is dat hoewel de methodologische verschillen zeer groot zijn (hindcast vs. forecast, verschillende debieten, etc.) de trend berekend door Tönis en Kwartel (ca. 1,4 m<sup>3</sup>/s per jaar ten faveure van de Waal) grofweg overeenkomt met de trend berekend door Van Walsem (ruim 1 m<sup>3</sup>/s per jaar ten faveure van de Waal) en dat de Nederrijn/Lek in geen der analyses noemenswaardig meespeelt in de verdeling over de Waal, Nederrijn en IJssel.

## 5. Uitkomsten gevoeligheidsanalyse

Rijkswaterstaat Water,  
Verkeer en Leefomgeving

Datum  
2 oktober 2020

### 5.1 Geldigheidsgebied

De uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse zijn besproken door Rijkswaterstaat en Deltares. Ten aanzien van het geldigheidsbereik moeten de volgende twee kanttekeningen worden geplaatst.

#### *Geografisch*

Tijdens analyse van de resultaten bleek dat DM, voor de situatie met gewijzigde afvoerverdeling in 2050, niet goed gaat met wateraanvoer vanuit 2 takken (Nederrijn en Betuwepand). Als de aanvoer vanuit de Nederrijn te laag wordt, wordt niet via Betuwepand aangevuld met water uit de Waal. Hierdoor worden te grote tekorten berekend, die o.a. de KWA beïnvloeden. Dat maakt dat de resultaten in West-Nederland als onvoldoende betrouwbaar worden beschouwd. Hierom zijn resultaten van deze analyse alleen geldig voor de regio's 8,9,15,16,17, in dit memo genoemd de IJsselmeerregio.

#### *Afvoerbereik*

De in (Sloff, 2019) gevonden bodemtrends zijn vertaald in een afvoerverdeling die wordt opgelegd aan deelmodel DM. Hoe die vertaling precies is gedaan wordt uitgelegd in (De Jong, 2020).

De twee afvoerverdelingen die in deze memo met elkaar zijn vergeleken zijn zoals gememoreerd:

- In REF2020 en S2050 (oranje lijn) zit een (verouderde) afvoerverdeling die past bij het stuwprogramma van 2006 – volgens de “oude methodiek”.
- In de run S2050rivmorf (grijze lijn) is de afvoerverdeling middels een andere, nieuwe methodiek<sup>3</sup> afgeleid dan die voor REF2020 en S2050 en uiteraard op basis van de gewijzigde bodemligging.

Het verschil in methodiek leidt bij extreem lagere afvoeren tot een niet-plausibele situatie, namelijk dat de IJsselafoer toeneemt bij een gewijzigde riviermorfologie; in het bereik net daarboven is de IJsselafoer weliswaar hoger bij gewijzigde riviermorfologie maar wordt het verschil waarschijnlijk onderschat. Zie Figuur 5. Daaruit volgt dat de resultaten van deze studie de

---

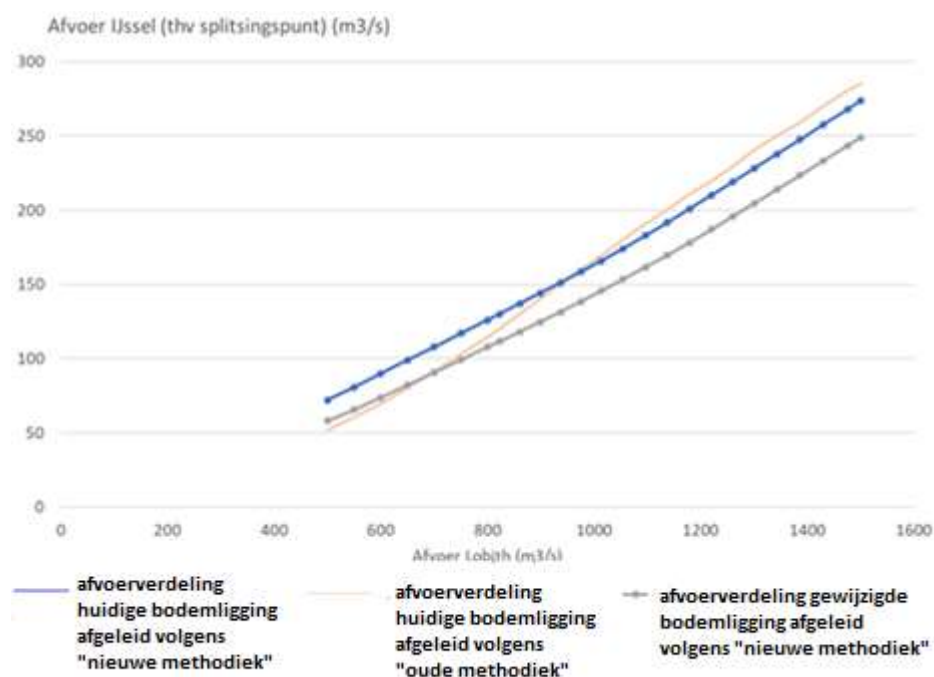
<sup>3</sup> Deze “nieuwe methodiek” wijkt af van de eerder gebruikte methodiek die past bij stuwprogramma 2006. De blauwe lijn is wat zou volgen als men de huidige bodemligging/stuwprogramma (referentiejaar 2020) zou vertalen in afvoerverdeling met dezelfde ‘methodiek’ als is gebruikt voor afleiden van S2050rivmorf-afvoerverdeling.

gevolgen van de afvoerverdeling waarschijnlijk onderschatten en daarmee ook de effecten ervan op regionale watertekorten.

Rijkswaterstaat Water,  
Verkeer en Leefomgeving

Datum  
2 oktober 2020

Het verschil tussen de twee afvoerverdelingen is ca. 20 m<sup>3</sup>/s ten faveure van de Waal bij een debiet van  $Q_{\text{Lobith}} = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ , oplopend tot ca. 25 m<sup>3</sup>/s bij hogere debieten, zie Figuur 5.



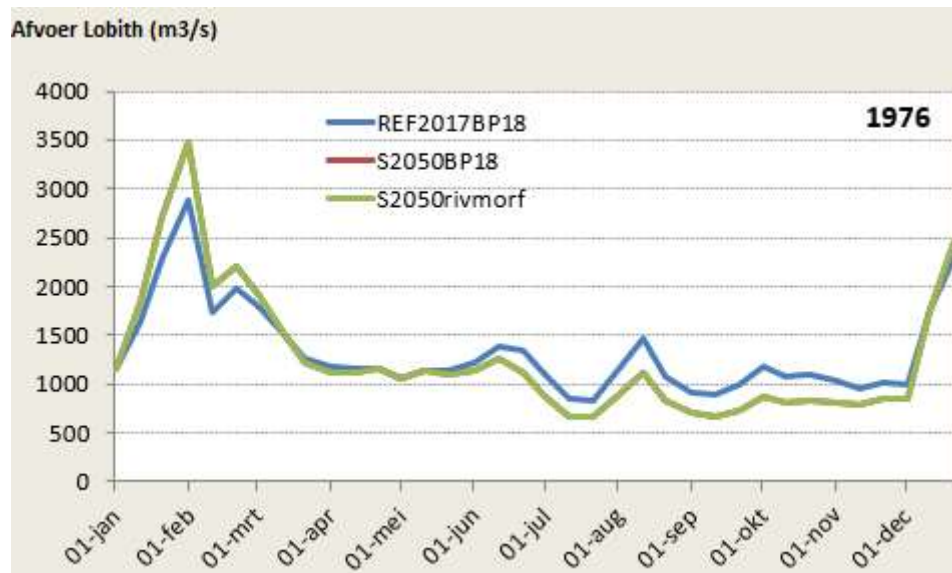
Figuur 5 Afvoerverschuiving in DM

## 5.2. Uitkomsten Analyse

In deze paragraaf worden de resultaten van de gevoeligheidsanalyse besproken.

### Afvoer bij Lobith en Westervoort

De afvoer bij Lobith (Bovenrijn) en Westervoort (IJssel) in het jaar 1976 wordt getoond als achtergrondinformatie. Zie Figuur 6. De lijn van S2050BP18 is bij Lobith "verscholen" achter S2050rivmorf. Voorts is te zien dat de afvoer in dit extreme jaar vaak zich rond of zelfs onder de 800 m<sup>3</sup>/s bevindt, hetgeen inhoudt dat watertekorten in deze studie wellicht wat onderschat worden.

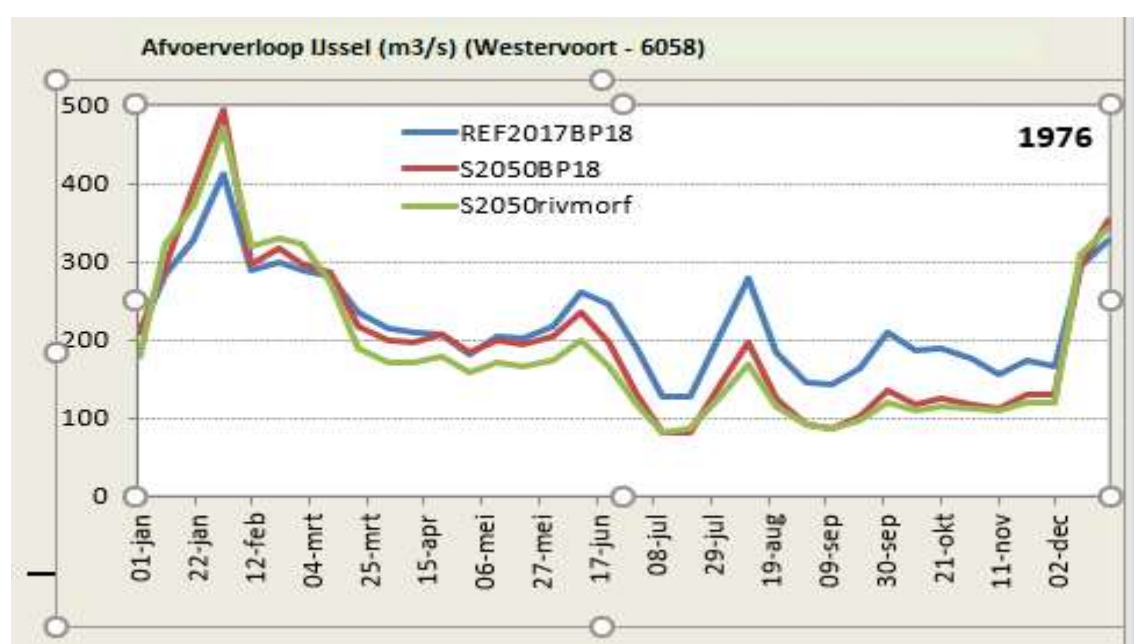


Rijkswaterstaat Water,  
Verkeer en Leefomgeving

**Datum**  
2 oktober 2020

Figuur 6 Afvoer Lobith

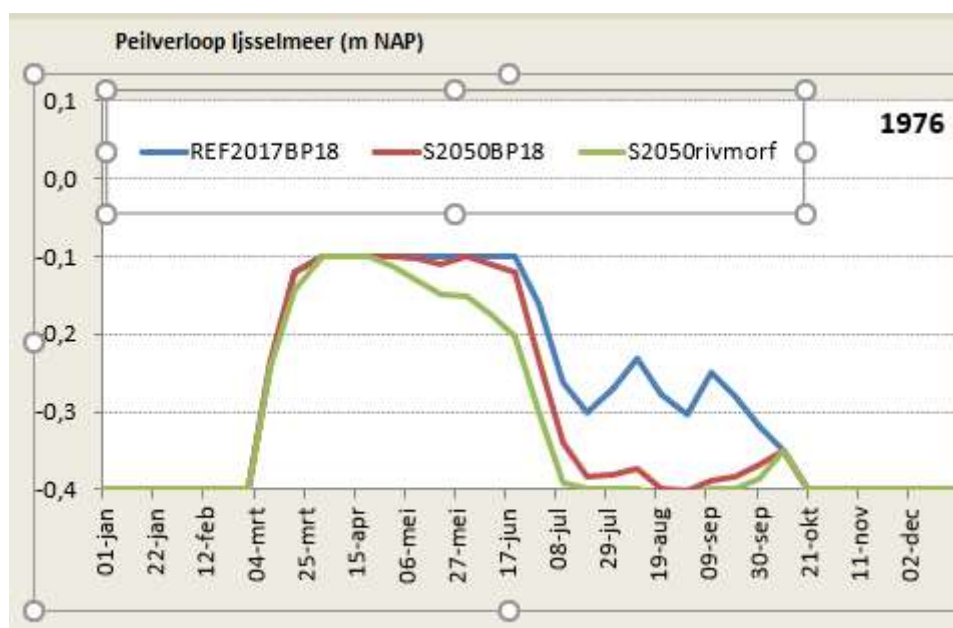
De afvoer over de IJssel wordt getoond in Figuur 7. Bij debieten boven 175 m<sup>3</sup>/s is het verschil tussen S2050 en S2050rivmorf zeer groot, daaronder wordt het minder. Zoals gemeld zorgt dit in paragraaf 3.4 besproken methodische keuze voor een onderschatting van de relatieve invloed van bodemverandering op watertekorten in 2050.



Figuur 7 Afvoer IJssel bij Westervoort

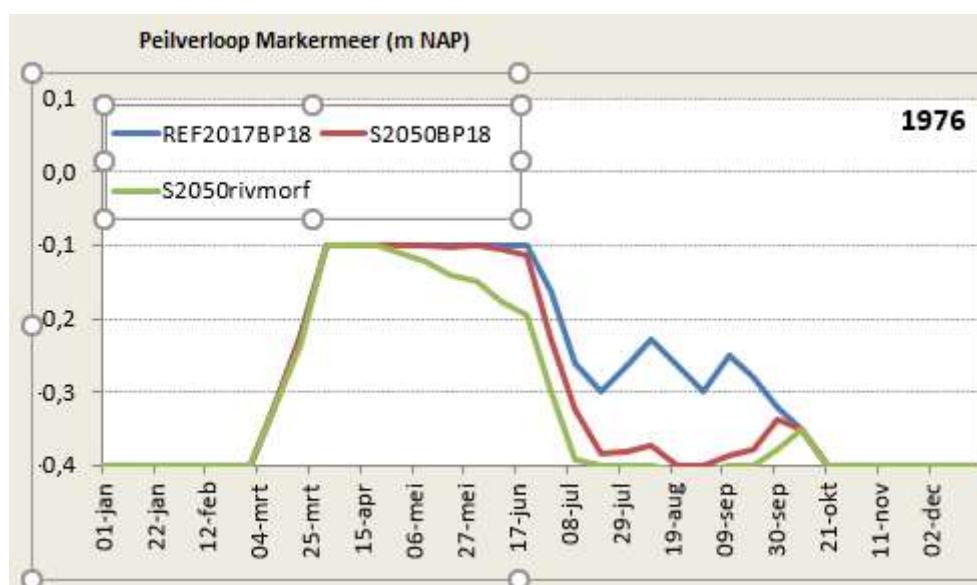
### Peilverloop IJsselmeer en Markermeer

De verminderde aanvoer richting IJssel heeft een duidelijke impact op het peilverloop op het IJsselmeer, dat eerder uitzakt naar het minimum peil van -0.40 m NAP in het geval van doorzettende rivierbodemdaling. Zie Figuur 8.



Figuur 8 Peilverloop IJsselmeer

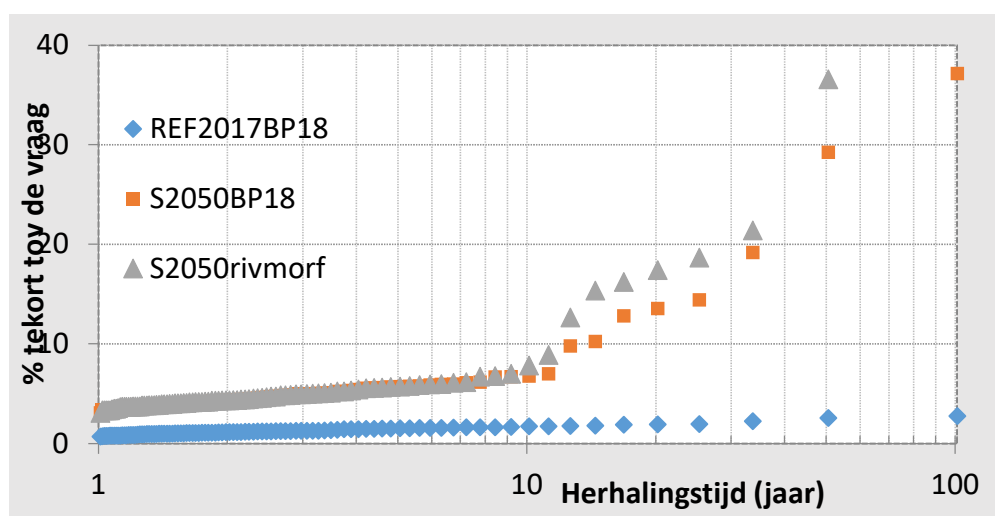
Hetzelfde geldt voor het Markermeer, zie Figuur 9.



Figuur 9 Peilverloop Markermeer

Uit Figuur 8 en 9 blijkt dat in er in het jaar 1976 aanzienlijk minder water aanwezig is gedurende droge periodes in het IJsselmeer en Markermeer als de geprojecteerde riviermorfologische veranderingen doorzetten. Het verschil met de Referentie 2017 en scenario Stoom2050 is groot. Dit is een gevolg van de toenemende watervraag in reactie op klimaatverandering en sociaaleconomische ontwikkeling (b.v. meer beregening) en de reductie van de aanvoer van IJsselwater naar het IJsselmeer.

Tot slot een blik op de terugkeertijden van watertekorten, zie Figuur 10.



Figuur 10 Terugkeertijden watertekorten

Te zien is dat de veranderende bodem de tekorten in een extreem droog jaar wel doet toenemen, doch slechts in beperkte mate. Ten opzichte van de referentie 2017 is de klimaatverandering belangrijker dan de morfologische verandering. Merkwaardigerwijs heeft het veel sneller inzakken van het waterpeil in IJsselmeer en Markermeer – zie Figuren 7 en 8 – kennelijk weinig consequenties voor de watertekorten. Te zien is dat de impact van klimaatverandering groter is dan de impact van rivierbodempverandering op de watertekorten.. Verder valt op te maken dat in zeer droge jaren ( $T > 10$  jaar) de impact van rivierbodempverandering zichtbaar is; daaronder niet.

### 5.3 Vergelijking met Eerdere Analyses

#### Afvoerverdeling

De afvoerverdeling verschuift in deze studie ongeveer 12,5 m<sup>3</sup>/s bij een debiet van  $Q_{Lobith} = 800$  m<sup>3</sup>/s en ongeveer 20 – 25 m<sup>3</sup>/s bij een debiet van  $Q_{Lobith} = 1000$  m<sup>3</sup>/s. Dat is grofweg 0.5 m<sup>3</sup>/s per jaar.

Dat is minder dan volgens de trendanalyses van Tönis en Kwartel en Van Walssem, die op 1,4 respectievelijk 1 m<sup>3</sup>/s uitkwamen. Waarschijnlijk ligt dat deels aan de bijgewerkte trends afgeleid door (Sloff, 2019) en ook door de

afwijkende methodiek die gebruikt is voor het afleiden van afvoerverdelingen, zie paragraaf 3.4. Zie Tabel 2.

**Rijkswaterstaat Water,  
Verkeer en Leefomgeving**

**Datum**  
2 oktober 2020

| Verandering debiet<br>IJssel als gevolg van<br>riviermorphologie per jaar | $Q_{\text{Lobith}} = 800 \text{ m}^3/\text{s}$     | $Q_{\text{Lobith}} = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Tönis, Kwartel (2019)                                                     | -                                                  | $40/29 = \text{Ca. } 1,4 \text{ m}^3/\text{s}$  |
| Van Walsem (2019)                                                         | $29/30 = \text{Ca. } 1 \text{ m}^3/\text{s}$       | -                                               |
| Onderhavige analyse                                                       | $12,5 / 32 = \text{Ca. } 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ | $20/32 = \text{Ca. } 0,65 \text{ m}^3/\text{s}$ |

*Tabel 1 Vergelijking met eerdere analyses*

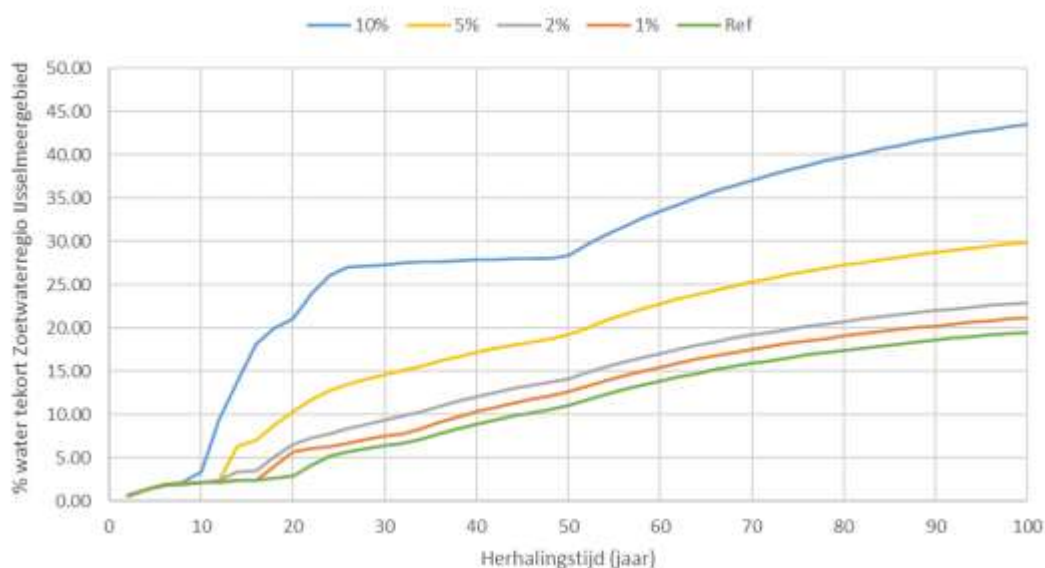
### Impact op Zoetwatervoorziening

Bij  $Q_{\text{Lobith}} = 800 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_{\text{Waal}}$  ca.  $570 \text{ m}^3/\text{s}$ ) neemt  $Q_{\text{Waal}}$ , indien de gewijzigde bodem in rekening wordt gebracht, ongeveer  $12,5 \text{ m}^3/\text{s}$  toe in het scenario 2050. En bij  $Q_{\text{Lobith}} = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_{\text{Waal}}$  ca.  $670 \text{ m}^3/\text{s}$ ) neemt  $Q_{\text{Waal}}$  toe met ongeveer  $20\text{--}25 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dit komt overeen met een afvoerverschuiving van tussen de 2% en 3% volgens de definities uit (Hydrologic, 2019), waarin “afvoerverdelingsverschuiving” gedefinieerd is als relatieve toename van het Waaldebiet.

Rijkswaterstaat Water,  
Verkeer en Leefomgeving

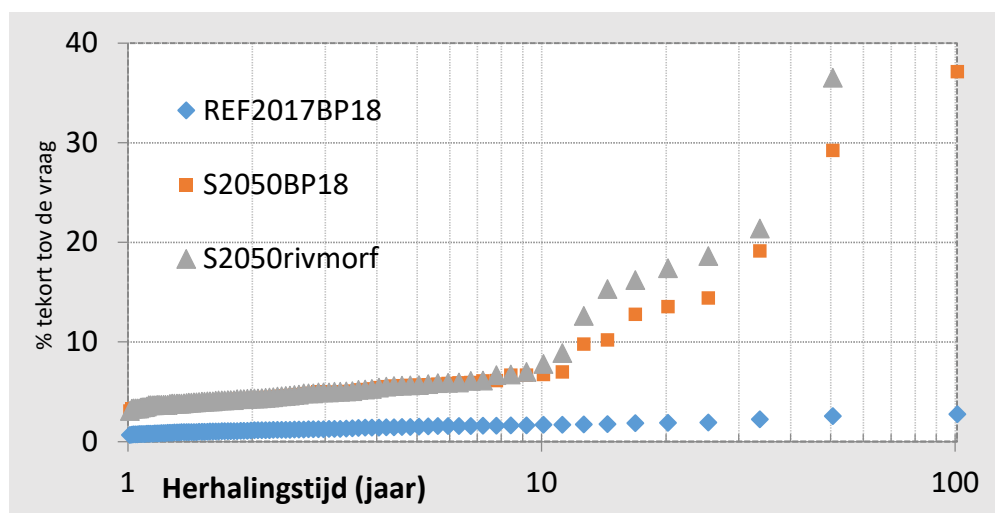
Datum  
2 oktober 2020

Een zowel in de analyse van (Hydrologic, 2019) als in de gevoeligheidsanalyse gedeelde indicator is het watertekort. Uit Figuur 11 uit (Hydrologic, 2019) kan worden afgeleid dat bij een droogte die eens in de vijftig jaar optreedt het relatieve watertekort in de zoetwaterregio IJsselmeergebied bij een afvoerverdelingsverschuiving van 2% circa 14% bedraagt, en bij 5% circa 19%.



Figuur 11 Watertekorten bij S2050 in IJsselmeerregio bij verschillende afvoerverschuivingen uit (Hydrologic, 2019)

De onderhavige analyse levert voor zoetwaterregio IJsselmeergebied de eerder al getoonde resultaten vermeld in Figuur 12 op:



Figuur 12 Watertekorten bij S2050 in IJsselmeerregio bij de onderhavige studie aangehouden afvoerverschuiving berekend met NWM

Er valt op te maken:

- Watertekorten berekend met de QWAST-studie (Hydrologic, 2019) zijn lager dan die in onderhavige analyse, voor zowel referentiesituatie als situatie met afvoerverschuiving. Zo komt het watertekort in de QWAST-studie bij T=50 jaar uit op 14% à 19% uitgaand van een waterverdelingsverschuiving van 2 à 3 %. Onderhavige analyse komt uit op ca. 35%. Dit wordt verklaard door een andere watertoedeling binnen districten (mondelinge mededeling dr ir. M. Mens) en door het feit dat QWAST een “perfecte voorkennis” van het droogteverloop gedurende de zomer heeft en onderhavige analyse uitgevoerd met het NWM niet – zie (Hydrologic, 2019).
- Ook bij de frequentie waarbij significant watertekort – in (Hydrologic, 2019) is 3% gehanteerd – optreedt is veel hoger in onderhavige analyse dan in (Hydrologic, 2019).
- Wat verder opvalt is dat ook in (Hydrologic, 2019) deze verandering van 2%-3% van de afvoerdeling uiteindelijk beperkt invloed had op het watertekort in vergelijking met de klimaatverandering. De grote veranderingen treden op tussen 5% en 10% afvoerverschuiving.
- Hoewel de in onderhavige studie gevonden absolute watertekorten hoger zijn dan in (Hydrologic, 2019) is de gevonden *trend*, voor wie Figuur 11 naast Figuur 12 legt, wel vergelijkbaar.

## 6. Conclusies

De volgende conclusies worden getrokken:

### *Algemeen*

1. Met deze analyse is de impact van riviermorphologische verandering tot in de haarvaten van het Nederlandse watersysteem doorgerekend met een *state of the art process-based* hydrologisch model. De resultaten zijn in grote lijnen betrouwbaar, met inachtneming van een aantal beperkingen.
2. De indicatoren peil IJsselmeer en peil Markermeer zijn tijdens extreme hydrologische jaren zeer gevoelig voor riviermorphologische verandering in het scenario S2050. Waar zonder deze verandering het peil gedurende de zomer hoog blijft zakt het peil, als de riviermorphologische verandering wordt verdisconteerd, sterk in.
3. De indicator watertekort wordt aanzienlijk minder sterk beïnvloed door riviermorphologische verandering in extreme jaren, in elk geval bij beperkte afvoerverschuiving (tot 5%). Het relatieve tekort dat in scenario S2050 bij eens eens per vijftig optredend droog jaar optreedt bij morfologische verandering is circa 35% t.o.v. 30% bij een onveranderde bodem.
4. De frequentie waarbij significant watertekort optreedt neemt toe.

### *Vergelijking met eerdere analyses*

5. De afvoerverschuiving berekend in deze studie komt lager uit dan in (Van Walsem, 2019) en (Tönis, 2019), onder andere door methodologische verschillen. Zie ook conclusie 6.
6. Deze analyse onderschat, met name voor het lagere afvoerbereik (tot  $Q_{Lobith}=700 \text{ m}^3/\text{s}$ ) de invloed van riviermorphologische verandering op de afvoerverdeling onderschat en daarmee ook de gevolgen voor de zoetwatervoorziening. Mogelijk is de invloed van riviermorphologische verandering daarom (zelfs) groter dan in onderhavige analyse berekend.
7. De resultaten van deze analyse leveren in algemene zin hogere watertekorten op dan de met de door (Hydrologic, 2019) uitgevoerde verkenning met QWAST. Andere verdeling in districten en de “perfecte voorkennis” van het QWAST-model zijn hier debet aan.
8. De onderhavige analyse bevestigt in grote lijnen de in (Hydrologic, 2019) gevonden *trends*.

## 7. Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden gedaan.

1. Onderhavige studie bevestigt de noodzaak van het betrekken van morfologische ontwikkelingen bij beleidstudies zoals uitgevoerd met het NWM. Aanbeveling dit voortaan een vast element bij beleidstudies te maken.
2. De sturingsregels voor de stuwen Driel en Hagestein werken goed voor de huidige situatie en worden regelmatig incrementeel aangepast aan veranderende omstandigheden. Maar voor beleidstudies moeten nieuwe stuwsturingsregels afgeleid worden die, ook voor situaties met fors gewijzigde afvoerverdeling, de achterliggende *rationale* van RWS op gebied van nautische diepte en zoetwater goed weergeven.
3. Tijdens deze analyse bleek dat de watervraag en -toewijzingsregels in het LHM erg gericht waren op de huidige afvoerverdeling. *DM blijkt* niet goed om te kunnen gaan met wateraanvoer vanuit 2 takken (Nederrijn en Betuwepand). Als de aanvoer vanuit de Nederrijn te laag wordt, wordt niet via Betuwepand aangevuld met water uit de Waal. Hierdoor worden te grote tekorten berekend. " Geadviseerd wordt om voor beleidstudies tot robuustere regels te komen die, ook in dit geval, de achterliggende *rationale* van de regels goed weergeven.
4. Er moet worden uitgezocht waarom de impact van riviermorfologische verandering zo groot is op het peil van IJssel- en Markermeer maar uiteindelijk veel minder doorwerkt op het watertekort.
5. Met deze analyse is de impact van riviermorfologische verandering op de zoetwatervoorziening in Noord-Nederland geschetst dan wel verder uitgewerkt. Ook op scheepvaartgebied is er veel onderzoek gedaan naar de impact van riviermorfologische verandering. Maar op het punt van (irreversibele) schade aan de natuur is er nog sprake van een kennislacune, die zou kunnen worden opgevuld.
6. De bodemligging van de huidige LHM moet worden geactualiseerd ten behoeve van het doorrekenen van riviermorfologische trends. In feite is de afvoerverdeling al circa 15 jaar blijven veranderen zonder dat dit verwerkt is in het LHM.

## 8. Bronnen

Sloff, C. (2019). *Prognose bodemligging Rijntakken 2020-2050*. Deltares.

De Jong, J. (2020). *Effect van een nieuwe bodemhoogte 2050 op de waterstanden en afvoeren op de Rijntakken*. Deltares.

Visser, P. (2000) *Bodemontwikkeling Rijnsysteem. Een verkenning van omvang, oorzaken, toekomstige ontwikkelingen en mogelijke maatregelen*. TU Delft.

Hydrologic (2019). *Effect Afvoerverschuiving Pannerden op de waterbeschikbaarheid vanuit het IJsselmeer*, Memo P1124.

Tönis, Kwartel (2019). *Presentatie Rijntakken systeem in Nederland*, RWS.

Van Walsem, T. (2019). *Memo Verkenning Verandering Afvoerdeling en Diepte Rijntakken als gevolg van bodemverandering*, RWS.

Gijsbers, P., Ten Velden, C., (2017). *Validatie QWAST-Nederland: Quick Water Allocation Scanning Tool voor inzet in Knelpuntenanalyse 2.0*, Deltaresrapport 11200588- 025.

Visser, M. (2019) Schaderelaties Landbouw. Gewasschade berekenen op basis van QWAST watertekort: <https://gitlab.com/deltares/schaderelatie-landbouw>, Deltares.

**Rijkswaterstaat Water,  
Verkeer en Leefomgeving**

**Datum**  
2 oktober 2020