



RWS BEDRIJFSVERTROUWELIJK

RWS Oost-Nederland

Eusebiusbuitensingel 66
6828 HZ Arnhem
Postbus 2232
3500 GE Utrecht
T 088 797 49 00
www.rijkswaterstaat.nl

Contactpersoon

D.R. van Putten
Rivierkundig adviseur

T 0615539660
daniel.van.putten@rws.nl

Datum

2 september 2020

memo

Kans op lage waterstanden bij Eefde

L.S.,

In het kader van de afronding en oplevering van de nieuwe sluis te Eefde, zijn vragen gerezen over de mogelijke lage waterstanden bij Eefde aan de IJsselzijde. Specifiek is de vraag gesteld hoe groot de kans is dat de waterstand bij Eefde onder NAP +1,46m komt in de komende 25 jaar.

Om deze vraag goed te kunnen beantwoorden, is in dit memo ingegaan op de belangrijkste oorzaken van de trend in steeds lagere waterstanden: erosie van het zomerbed en klimaatverandering. Rekening houdend met deze 2 oorzaken, is de verwachting dat in de komende 25 jaar *gemiddeld* 49-217 dagen het criterium bij Eefde wordt overschreden.

Het spreekt voor zich dat dergelijke extreme laagwaters zich echter moeilijk in gemiddeldes laten vatten. Historisch gezien is in de extreemste 25-jaarsperiode het aantal dagen dat het criterium werd overschreden 3 keer groter dan het gemiddelde. En anderzijds zijn er ook periodes dat het criterium in 25 jaar niet eenmaal werd overschreden.

Een toelichting op alle gemaakte keuzes en aannames om tot deze resultaten te komen, is te vinden op de volgende pagina's.

Met vriendelijke groet,

D.R. van Putten
Rivierkundig adviseur

1.1

Achtergrond

De Twentekanalen vormen de verbinding van de IJssel met bedrijven en havens in Lochem en Twente. Bij Eefde lag sinds het graven van de Twentekanalen één sluisolk, om schepen te kunnen schutten tussen IJssel en Twentekanalen. De wachttijd op deze locatie was echter hoog, waardoor de minister in 2012 de beslissing heeft genomen tot capaciteitsuitbreiding (een 2^e kolk). Deze Noordersluis is in 2020 gereed gekomen en in bedrijf gesteld.

Bij het ontwerp is rekening gehouden met laagwaterstanden op de IJssel tot NAP +1,46m. De achtergrond van deze keuze is onderbouwd in het memo 'verkenning lange termijn ontwikkeling IJsselwaterstand bij Eefde' door A. Sieben en H. Havinga in 2011. Grofweg komt het er op neer dat de OLR 2012 bij Eefde NAP +2,46m is, en dat men voor de komende 100 jaar (levensduur object) rekening houdt met 1m dalende waterstanden als gevolg van erosie in het zomerbed.

Tijdens de droogte in zomer en najaar 2018 waren de afvoeren en waterstanden op de Rijntakken uitzonderlijk laag. Bij Eefde was de laagste waterstand, gemeten door LMW-station 'Eefde beneden', NAP +1,35m (10-minuten waarde). Dag-gemiddeld was de laagste waterstand NAP +1,44m. Daarmee was de waterstand dus al lager dan de ontwerpwaterstand.

Daarbij moet wel worden opgemerkt dat bij de lage waterstanden in 2018 forse beperkingen waren voor scheepvaart, met MGD's van 1.50m. Bij nog kleinere MGD's is het dus ook de vraag hoeveel scheepvaart er nog door kan gaan.

1.2

Vraagstelling

Door de recente droge zomers is bij het project de vraag gerezen of laagwaterstanden bij Eefde vaker blijken voor te komen. Dit mede naar aanleiding van een contractueel restpunt met de aannemer.

De specifieke vraag van het project is:

Hoe vaak komt (wat is de kans dat) de waterstand bij Eefde beneden NAP +1,46m in de komende 25 jaar?

In dit memo is ingegaan op 2 deelvragen die van belang zijn:

- Wat is de huidige trend van de bodemerosie?
- Wat is de huidige waterstandstrend bij laagwater?

Vervolgens is in 3 stappen de hoofdvraag beantwoord.

Allereerst is bepaald wat de huidige kans is op het voorkomen van waterstanden lager dan NAP +1,46m bij Eefde. Vervolgens is gecorrigeerd voor de bodemerosie, omdat de lage waterstanden bij Eefde hierdoor vaker voorkomen. En als laatste stap zijn deze resultaten weer gecorrigeerd voor klimaatverandering.

1.3

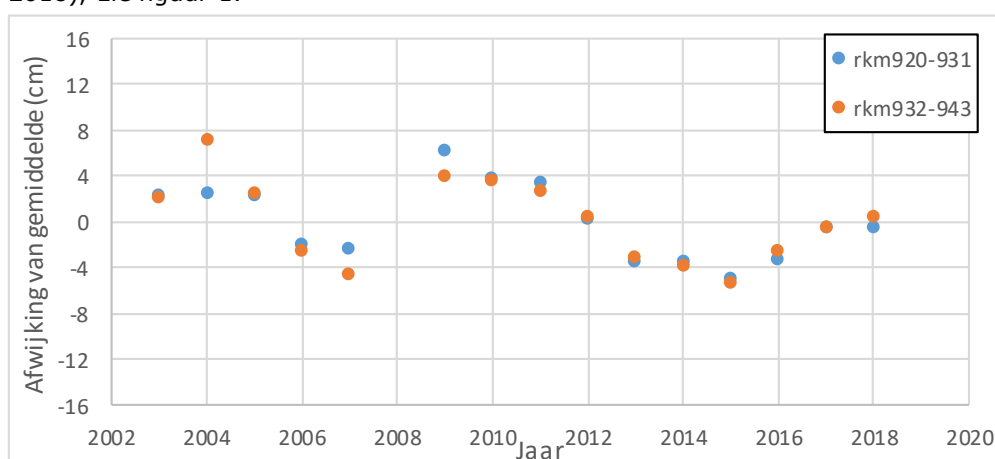
Huidige trend bodemerosie

Het zomerbed van de bovenstroomse delen van de Rijntakken daalt door bodemerosie. Dit heeft meerdere oorzaken; onder andere door de aanleg van kribben (normalisatie), minder aanvoer van sediment uit Duitsland, bochtafsnijdingen en de Rijnkanalisatie. De grootte van de erosie bedraagt zo'n 2cm per jaar.

Het resultaat is dat op de bovenstroomse delen bij gelijkblijvende afvoeren lagere waterstanden optreden dan vroeger. Daarnaast verandert ook de afvoerverdeling bij de splitsingspunten (Pannerdense Kop en IJsselkop). Hierdoor veranderen ook de waterstanden op de Rijntakken.

Om de grootte van de bodemerosie te kwantificeren, is allereerst gekeken naar de bodemerosie in de regio rond Eefde. Hiertoe is gebruik gemaakt van de pmapp-uitvoer. Dit is een jaarlijks product waarbij gemiddelde bodemliggingen worden gemaakt per hectometer op basis van multibeam-peilingen. In dit geval zijn peilingen van het zomerbed tussen de jaren 2003-2018 gebruikt. Vóór 2003 werd gebruik gemaakt van een andere meettechniek (singlebeam ipv multibeam), dus die data is niet direct te vergelijken met de huidige dataset.

Omdat het zomerbed dynamisch is, kunnen de resultaten per hectometervak van jaar tot jaar sterk verschillen. Daarom is ervoor gekozen langere trajecten te middelen, namelijk één bovenstrooms Eefde (rkm 920- 931) en één benedenstrooms (rkm 932 - 943). Per jaar is de gemiddelde bodemligging per traject bepaald, en afgezet tegen het gemiddelde van de gehele periode (2003-2018), zie figuur 1.



Figuur 1: gemiddelde bodemligging per jaar tov van het gemiddelde van de gehele periode (2003-2018) in centimeters.

Een duidelijke trend is in deze gegevens niet te ontdekken. Er is wel variatie, maar de orde grootte is slechts centimeters over 16 jaar. Beduidend minder dan de erosie op de bovenstroomse delen van de Rijntakken van 2cm per jaar. Ook is er geen duidelijk verschil zichtbaar tussen het bovenstroomse en benedenstroomse traject. Geconcludeerd wordt dat in de directe omgeving rond Eefde nauwelijks bodemerosie optreedt.

Zoals hiervoor al gesteld, drijft de bodemerosie ook een proces van veranderende afvoerverdeling op de splitsingspunten. Zo blijkt uit een studie op basis van vurende afvoermetingen dat bij een Lobith-afvoer van 1.020 m³/s (de OLA¹) de afvoer naar de IJssel jaarlijks afneemt met 1,4m³/s. Als vuistregel geldt op de IJssel dat bij laagwater 1 m³/s gelijk staat aan 1cm waterstand. Een daling van 1,4m³/s zou dan 1,4cm lagere waterstanden per jaar bij Eefde betekenen. In navolgende paragraaf wordt deze hypothese cijfermatig onderbouwd met waterstandsanalyses van het LMW-station Eefde beneden.

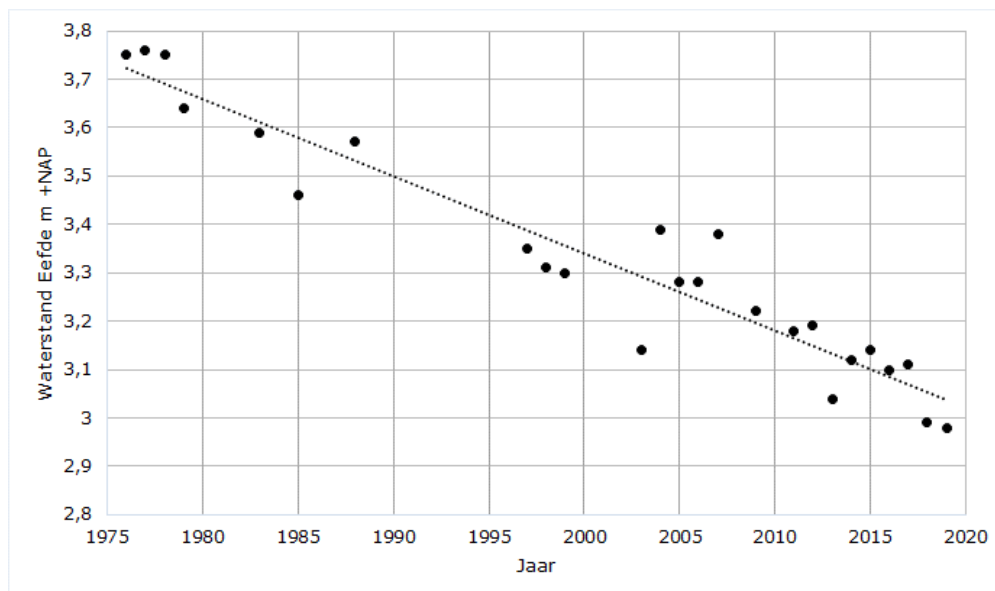
Het huidige bodembeheer is gericht op het zoveel mogelijk behouden van sediment binnen het systeem. Concreet betekent dit dat als er al gebaggerd moet worden in ondiepe delen van de rivier ten behoeve van de scheepvaart, het

¹ De OLA is de overeengekomen lage afvoer; van deze afvoer wordt de OLR afgeleid, een belangrijke maat voor waterdiepte bij laagwater voor scheepvaart. De OLA is een afvoer die gemiddeld 20 dagen per jaar voorkomt, en is 1.020m³/s.

vrijkomende sediment binnen enkele kilometers weer teruggestort moet worden in diepe delen. Ondanks deze beperkingen blijft het zomerbed van de bovenstroomse delen van de Rijntakken eroderen. Binnen IRM (Integraal Rivier Management) wordt nagedacht over welke opties er zijn om de bodemerrosie tegen te gaan. Dit moet uitmonden in een beleidsbeslissing. Er is op dit moment geen zicht op welke richting dit uitgaat (huidige bodemligging vast houden, terug gaan naar een vroegere bodemligging), behalve dan dat doorgaande bodemerrosie niet de voorkeur heeft. Ook de wijze om invulling te geven aan het beleid (herinrichting rivier / suppleren / combinatie) is niet zeker. Gezien al deze onzekerheden en onduidelijk op welke termijn dit opgelost wordt, is er in dit memo geen rekening gehouden met het stoppen van de bodemerrosie.

1.4 Huidige waterstandstrend bij laagwater

Uit de vorige paragraaf komt de verwachting dat waterstanden bij Eefde door de jaren heen dalen bij laagwater door een gewijzigde afvoerverdeling. Dit kan cijfermatig onderbouwd worden door de afvoer bij Lobith te koppelen aan de waterstanden bij Eefde. Er is gekozen voor de periode 1976 tot en met 2019, aangezien dit na de aanleg is van de stuwen op de Neder-Rijn, wat leidde tot hogere IJsselafvoeren. Per jaar zijn de waterstanden bij Eefde gemiddeld voor Lobith-afvoeren rond 1.200m³/s, zie figuur 2. De keuze voor deze afvoerrange is pragmatisch: het is een laagwaterafvoer die regelmatig voorkomt, en waarbij de stuw bij Driel dicht staat. Nog lagere afvoeren komen minder vaak voor, waardoor er moeilijker een betrouwbaar beeld ontstaat. En bij hogere afvoeren is stuw Driel niet altijd gesloten geweest (in de jaren 80), waardoor de reeks niet homogeen is.

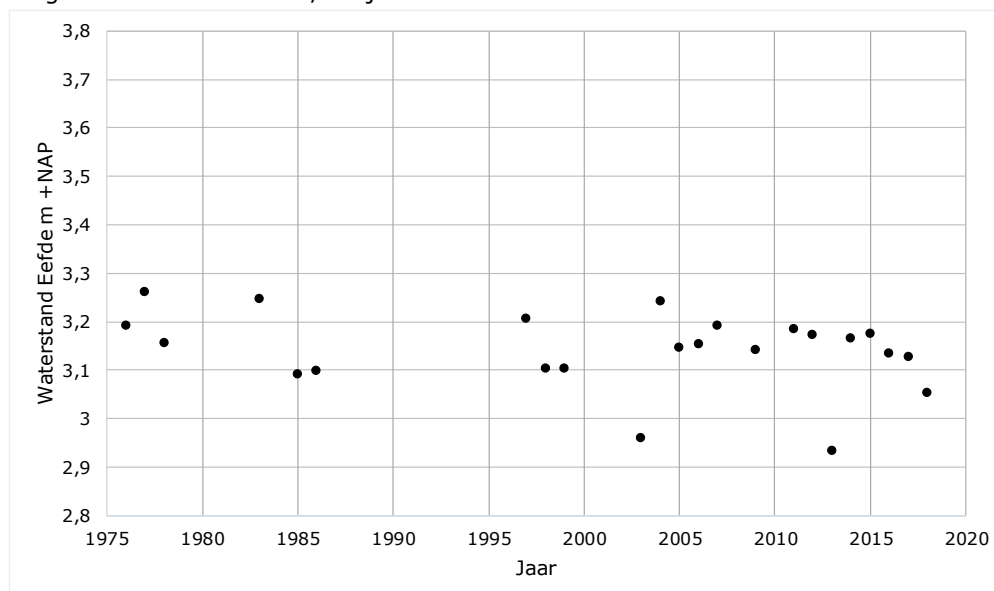


Figuur 2: gemiddelde waterstand bij Eefde beneden per jaar voor Lobith-afvoeren tussen 1180m³/s en 1220m³/s

Door de jaren heen is een duidelijk dalende trend zichtbaar van 1,6 cm per jaar. Andersom gesteld, betekent dit dat een waterstand van NAP +1,46m bij Eefde in de toekomst bij doorgaande bodemerrosie bij steeds hogere afvoeren Lobith (=vaker) voorkomt.

Om aan te tonen dat deze trend door een gewijzigde afvoerverdeling wordt gedreven, is eenzelfde analyse uitgevoerd maar nu ten opzichte van een

gelijkblijvende IJsselafvoer, zie figuur 3. Hiervoor is gebruik gemaakt van de afvoeren bij de IJsselkop rond 210m³/s, wat momenteel een vergelijkbaar laagwater is als 1.200m³/s bij Lobith.



Figuur 3: gemiddelde waterstand bij Eefde beneden per jaar voor IJsselafvoeren tussen 200m³/s en 220m³/s.

Deze grafiek laat zien dat de waterstand bij gelijke IJsselafvoeren nauwelijks een dalende trend kent. Wel is er enige spreiding in de gegevens. Dit is voor de IJssel niet ongevoelig, vanwege de gevoeligheid van laterale instroom/onttrekking van beken en kanalen.

De conclusie is daarom dat de trend van dalende waterstanden bij Eefde wordt veroorzaakt door een wijziging in de afvoerverdeling. Ook de orde grootte van de daling (1,6cm / jaar) komt goed overeen met de eerder genoemde 1,4m³/s als jaarlijkse afname in laagwaterafvoer naar de IJssel. Daarom wordt verder in dit memo 1,6 cm als waterstandsval per jaar gehanteerd.

1.5 Huidige kans van voorkomen op basis van historische gegevens

Zoals in paragraaf 1.4 duidelijk is geworden, is het niet mogelijk om zinvolle analyses te doen direct op de waterstanden van het LMW-station Eefde beneden, omdat deze niet homogeen zijn. Hierbij zijn belangrijke aspecten de waterstandstrend door de bodemerrosie (via gewijzigde afvoerverdeling) en de trendbreuk door de aanleg van stuw Driel. Het is wel mogelijk om de historische analyses uit te voeren op de afvoer bij Lobith, want deze reeks is wel homogeen. Daartoe is het nodig om de waterstand bij Eefde te vertalen naar een afvoer bij Lobith. Met behulp van de Betrekkingslijnen 2018 is gevonden dat een waterstand van NAP +1,46m bij Eefde momenteel overkomt met een afvoer van 715m³/s bij Lobith.

De meetreeks van de afvoer bij Lobith is beschikbaar vanaf 1 januari 1901. In totaal is er daarom 118 jaar aan data geanalyseerd voor de kans van voorkomen van een dergelijk lage afvoer, zie tabel 1.

Tabel 1: Jaren waarin de Lobith-afvoer kleiner is dan 715m³/s

Jaar	Aantal dagen
1921	21
1929	4
1947	40
1949	39
1953	11
1954	3
1959	1
1963	2

In de geanalyseerde reeks van Lobith komt in 8 jaar de afvoer onder het criterium. Dat is een kans van 6,8%. En als deze lage afvoer in een jaar voorkomt is dit gemiddeld 15 dagen per jaar. Dat betekent dat in een 'gemiddelde' 25-jaarperiode er $25 \text{ jaar} * 6,8\% * 15 \text{ dagen} = 26 \text{ dagen}$ een dergelijk lage afvoer voorkomt. In deze cijfers is nog *geen* rekening gehouden met bodemerosie (paragraaf 1.6) en klimaatverandering (paragraaf 1.7). Het spreekt voor zich dat dergelijke extreme laagwaters zich moeilijk in gemiddeldes laten vatten.

1.6 Kans van voorkomen rekening houdend met bodemerosie

Om een goede analyse te doen voor een periode van de komende 25 jaar, moet er rekening worden gehouden met de dalende trend van laagwaterstanden bij Eefde door bodemerosie. Hierdoor komt een vaste waterstand bij Eefde bij een steeds hogere afvoer bij Lobith (= vaker) voor. Rekening houdend met de trend van 1,6cm per jaar is de afvoer bij Lobith waarin de laagwaterstanden bij Eefde voorkomen over 25 jaar gestegen naar 835m³/s.

Voor de eenvoud van de berekening wordt het midden gekozen van de huidige Lobith-afvoer (715m³/s, zie paragraaf 1.5) en de Lobith-afvoer over 25 jaar. Dit komt neer op 775m³/s, en wordt beschouwd als een representatieve waarde voor de gevraagde 25-jaarsperiode. Met deze conditie is een vergelijkbare tabel als in paragraaf 1.5 gemaakt, zie tabel 2.

Tabel 2: Jaren waarin de Lobith-afvoer kleiner is dan 775m³/s

Jaar	Aantal dagen
1921	48
1929	6
1947	59
1949	65
1953	26
1954	6
1959	27
1963	12
1976	6
2018	25

Dit criterium is in 10 jaar onderschreden in de 118-jarige meetreeks van Lobith. Dit is een kans van 8,5%. En als deze lage afvoer in een jaar voorkomt is dit gemiddeld 28 dagen per jaar. Dat betekent dat een waterstand van NAP + 1,46m bij Eefde in de komende 25 jaar *gemiddeld* 60 dagen voorkomt, rekening houdend met bodemerosie, maar nog zonder klimaatveranderingen. Ten opzichte

van de verwachting zónder bodemerosie neemt het gemiddeld aantal dagen per 25 jaar een factor 2,3 toe.

RWS Oost-Nederland

Zulke extreme laagwaters laten zich moeilijk in gemiddeldes vatten. De meest extreme 25-jaarperiode is 1947-1972, waarin het maar liefst 195 dagen onder het criterium is geweest, wat meer dan drie keer het gemiddelde is. Terwijl de periode tussen 1977 en 2017 (42-jaar) geen enkele dag onder het criterium is geweest.

Datum
26 augustus 2020

1.7

Kans van voorkomen op basis van klimaatverandering

Voor een goede analyse voor de onderschrijding van NAP +1,46m bij Eefde in de komende 25 jaar, moet ook rekening gehouden worden met klimaatverandering. De verwachting is dat door klimaatverandering de laagwaterafvoeren bij Lobith vaker kunnen voorkomen.

Om dit cijfermatig te onderbouwen is hiervoor gebruik gemaakt van de klimaatscenario's van het KNMI. Via de tool WABES zijn daarmee kansen van voorkomen toekomstige afvoeren en waterstanden te bepalen voor een referentiesituatie, en de situatie 2050 voor 4 deltasenario's.

Binnen WABES is voor elk scenario 100 jaar aan 'data' beschikbaar. Voor Lobith bestaat dit uit ongeveer één afvoerwaarde per 10 dagen. Uit de gegevens blijkt dat er feitelijk maar 2 onderscheidende deltasenario's zijn, aangezien 'Stoom 2050' en 'Warm 2050' gelijk zijn, evenals 'Rust 2050' en 'Druk 2050'. Het referentiescenario ('Ref 2017') is niet gelijk aan de meetreeks van Lobith, dus de informatie kan alleen relatief worden gebruikt.

Voor de honderdjarige datareeks vanuit WABES, is een vergelijkbare analyse uitgevoerd als in paragraaf 1.5, zie tabel 3. Wederom is gebruik gemaakt van het criterium bij Lobith van 775m³/s, wat de representatieve waarde is voor een waterstand van NAP +1,46m bij Eefde voor de komende 25 jaar, rekening houdend met bodemerosie (zie paragraaf 1.6).

Tabel 3: Analyse van klimaatscenario's uit WABES

Scenario	Aantal dagen Q < 775m ³ /s in 100 jaar	Per 25 jaar periode	Procentueel verschil tov referentie
Ref 2017	203	51	Nvt
'Rust 2050'	132	32	-35%
'Stoom 2050'	1299	325	540%

De klimaatscenario's zijn opgesteld voor het toekomstjaar 2050. Dit is verder in de tijd dan benodigd voor het beantwoorden van de vraag bij Eefde. Voor eenvoud is gekozen voor het midden van de gevraagde 25-jaarsperiode, wat neerkomt op het jaar 2033. Dit ligt op 48% tussen referentiejaar 2017, en zichtjaar 2050 van de klimaatscenario's. Dit betekent dat het klimaateffect niet volledig, maar voor 48% dient te worden meegenomen.

Omdat WABES geen meetreeks heeft gebruikt voor het referentiescenario, kan de informatie alleen relatief gebruikt worden (hoeveel vaker / minder vaak komt iets voor). Hiertoe is het procentuele verschil toegepast op de historisch kans inclusief bodemerosie (zoals bepaald in paragraaf 1.6). Dit leidt tot tabel 4.

Tabel 4: Verwacht klimaateffect op voorkomen van lage afvoeren

Scenario	Procentueel verschil in 2050 tov 'Ref 2017'	Procentueel verschil in 2033 tov 'Ref 2017'	Gemiddeld aantal dagen voorkomen in 25 jaar in 2033
Huidige kans	Nvt	-	60
'Rust 2050'	-35%	-17%	49
'Stoom 2050'	540%	261%	217

RWS Oost-Nederland

Datum
26 augustus 2020

Rekening houdend met klimaatverandering en bodemerosie, is de verwachting dat in de komende 25 jaar er gemiddeld 49-217 dagen de waterstand bij Eefde lager is dan NAP + 1,46m, afhankelijk van het klimaatscenario. Er is geen 'waarschijnlijkheid' aan de klimaatscenario's gekoppeld. Dat betekent dat de gevonden waardes niet kunnen worden samengevoegd tot een bepaald gewogen gemiddelde, maar gezien moeten worden als de bandbreedte van waar klimaatverandering toe zou kunnen leiden.

1.8

Conclusie

Bij laagwater dalen de waterstanden door de jaren heen bij Eefde, bij gelijke Lobith-afvoeren. De oorzaak hiervan is de bodemerosie, ondanks dat de bodem van de IJssel rond Eefde al jaren stabiel lijkt. De bodemerosie zorgt echter ook voor een gewijzigde afvoerverdeling over de Rijntakken, waarbij de IJssel jaarlijks minder afvoer krijgt bij gelijke Lobith-afvoeren. Bij Eefde leidt dit tot een jaarlijkse waterstandsafname van 1,6cm bij gelijkblijvende Lobith-afvoeren.

Met deze gegevens zijn 3 varianten uitgewerkt op het gemiddeld aantal dagen dat een waterstand van NAP +1,46m bij Eefde wordt onderschreden in 25 jaar. Hierbij is allereerst een historische kans bepaald (variant 1), vervolgens gecorrigeerd voor bodemerosie (variant 2), en tot slot gecorrigeerd voor klimaatverandering (variant 3). Een samenvatting van de resultaten is opgenomen in tabel 5.

Tabel 5: samenvatting resultaten

	Paragraaf	Variabelen	Gemiddeld aantal dagen in 25 jaar
Variant 1	1.5	Geen bodemerosie, geen klimaatverandering	26
Variant 2	1.6	Wel bodemerosie, geen klimaatverandering	60
Variant 3	1.7	Wel bodemerosie, wel klimaatverandering	49-217

Op basis van de homogene historische meetreeks van Lobith (1901-2019) is vastgesteld dat de huidige kans op overschrijding van een waterstand van NAP +1,46m bij Eefde 6,8% per jaar bedraagt, en áls het voorkomt dan gemiddeld 15 dagen. Het gemiddeld aantal dagen per 25 jaar dat dit criterium wordt onderschreden bedraagt dan dus 26 dagen.

Rekening houdend met zowel bodemerosie als klimaatverandering verschuift dit naar gemiddelde naar 49-217 dagen voor de komende 25 jaar. Dit aantal dagen is een gemiddeld beeld voor de geleidelijke verandering gedurende deze 25 jaar.

Het spreekt voor zich dat dergelijke extreme laagwaters zich moeilijk in gemiddeldes laten vatten. Historisch gezien is in de extreemste 25-jaarsperiode het aantal dagen dat het criterium werd overschreden 3 keer groter dan het gemiddelde. En anderzijds zijn er ook periodes dat het criterium in 25 jaar niet eenmaal werd overschreden.