



Panteia
Research to Progress

Research voor Beleid | EIM | NEA | IOO | Stratus | IPM



**Onderzoek naar de economische
meerwaarde van een tweede sluiskolk bij
Grave voor de gehele Maascorridor.
Een maatschappelijke kosten-baten analyse**

Wouter van der Geest; Roeland Houkes; Rob de Leeuw van Weenen; Judith Mol; Yuko Kawabata en Jochem van der Geest

Zoetermeer, 14 januari 2022

De verantwoordelijkheid voor de inhoud berust bij Panteia. Het gebruik van cijfers en/of teksten als toelichting of ondersteuning in artikelen, scripties en boeken is toegestaan mits de bron duidelijk wordt vermeld. Vermenigvuldigen en/of openbaarmaking in welke vorm ook, alsmede opslag in een retrieval system, is uitsluitend toegestaan na schriftelijke toestemming van Panteia. Panteia aanvaardt geen aansprakelijkheid voor drukfouten en/of andere onvolkomenheden.

The responsibility for the contents of this report lies with Panteia. Quoting numbers or text in papers, essays and books is permitted only when the source is clearly mentioned. No part of this publication may be copied and/or published in any form or by any means, or stored in a retrieval system, without the prior written permission of Panteia. Panteia does not accept responsibility for printing errors and/or other imperfections.

Samenvatting

Probleemstelling

Het huidige sluiscomplex in Grave is, gezien zijn enkele sluiskolk en zijn geringe afmeting, zeer kwetsbaar voor storingen en congestie en niet in staat om de maatgevende klasse Vb-schepen op de Maascorridor te kunnen laten passeren. Hierdoor kan de gehele Maascorridor feitelijk niet optimaal worden benut¹. Dit terwijl de Maas met het project Maasroute, waar de afgelopen decennia zo'n 748 miljoen² euro aan Rijksmiddelen incl. EU-subsidie is geïnvesteerd, geschikt is gemaakt voor klasse Vb. Daarnaast zijn van de 8 sluiscomplexen op de Maascorridor (indien de op de grens met België gelegen sluis Ternaaien ook wordt meegeteld) alle overige 7 sluiskolken voorzien van minimaal 2 sluiskolken per sluiscomplex en is elk van deze sluiscomplexen voorzien van in ieder geval één grote sluiskolk van meer dan 200 meter lengte.

Uit de nieuwe IMA 2021 blijkt dat sluis Grave voor zowel basisjaar 2019 als prognosejaar 2050 niet als capaciteitsknelpunt³ is aangemerkt. De sluis is in de IMA wel aangemerkt als een robuustheidsknelpunt⁴. De reguliere IMA/NMCA-systematiek, waarin er wordt gekeken naar de vertraging om een specifieke sluis te passeren, laat daarmee in het geval van sluis Grave onvoldoende de (economische) noodzaak van een tweede sluiskolk zien. Echter, wanneer dit wordt bekeken voor de gehele Maascorridor, in relatie tot laag water op de Waal als gevolg van klimaatverandering, bodemerosie en bodemdaling, dan laat dit onderzoek een heel ander beeld zien.

Vervoerskundige analyse⁵

Binnen Nederland geldt dat de noord-zuidtak van de Maas vanaf het Maas-Waalkanaal tot de binnenhaven van Venlo het drukst bevaren wordt. Het jaarlijkse volume daar bedraagt ongeveer **20 à 25 miljoen ton**. Bij Maastricht is het volume teruggelopen tot ongeveer 13 miljoen ton. Het Oost-West gedeelte van de Maas (Heumen-Moerdijk) wordt aanmerkelijk minder intensief bevaren. Het volume bij Grave bedraagt onder normale omstandigheden qua waterstanden ordegrrootte **3 à 5 miljoen ton** per jaar. Dit betreft het verkeer tussen de noord-zuidtak van de Maas en de binnenhavens in Noord-Brabant (Waalwijk, Den Bosch, Veghel, Oss, etc.). Het zijn veelal kleine(re) schepen die dit transport uitvoeren (vooral CEMT III) en het merendeel van de goederen die vervoerd worden, betreft zand & grind – zie hiervoor Hoofdstuk 4.

Tijdens periodes van laagwater op de Waal, wordt de Oost-West tak van de Maas als gevolg van de gegarandeerde diepgang van 3,20 meter veel intensiever benut. Bij laag water op Waal is door deze gegarandeerde diepgang de vervoerscapaciteit op de Oost-West tak groter dan op de Waal. Dit weegt dan op tegen de langere (14km) en langzamere (één keer extra schutten) route ten opzichte van de reguliere vaarroute via het Maas-Waalkanaal/sluis Weurt.

De omvang van het reguliere scheepvaartverkeer bij sluis Grave bedraagt onder normale omstandigheden ongeveer 150 tot 200 passerende schepen; dit kan oplopen naar 300 tot 400 schepen per week tijdens laagwaterperiodes op de Waal (zie figuur 23). Deze periodes van laagwater variëren, maar kunnen in een droog jaar zoals in 2018 maanden aanhouden. Hierdoor steeg het totale binnenvaartvolume dat in 2018 sluis Grave passeerde van het gemiddelde van zo'n 3 à 5 miljoen ton in normale jaren naar zo'n **10 miljoen ton**. De verwachting is dat de periodes van laagwater zullen toenemen door klimaatverandering – dit is uiteengezet in hoofdstuk 3.

¹ Het project Modernisering Maasroute is nog niet afgerond – afronding is voorzien in 2023.

² Zie bladzijde 299 van het MIRT-projectenboek

³ Een sluis wordt aangemerkt als een capaciteitsknelpunt als in het basisjaar (2019) of in een van de toekomstjaren de gemiddelde wachttijd voor beroepsvaart de waarde van 30 minuten (SVIR-norm) overtreft.

⁴ Sluizen worden aangemerkt als een robuustheidsknelpunt als slechts één sluiskolk beschikbaar is voor maatgevende schepen, waardoor routes bij een incident of toenemend laag- of hoogwater kwetsbaar kunnen zijn en extra wachttijden mogelijk zijn.

⁵ De cijfers deze paragraaf genoemd zijn, zijn afkomstig uit BIVAS 2014-2019.



Het percentage omvarende schepen neemt toe naar mate de waterstanden op de Waal lager worden. Tijdens de meest extreme lage waterstanden op de Waal geldt dat vrijwel alle schepen tussen de binnenhavens langs de Maas en de zeehavens via sluis Grave gaan varen. Daardoor nemen de wachttijden bij de sluis tijdens deze periodes sterk toe. Het zijn ook andere schepen die gedurende deze periodes de sluis passeren. De data laten zien dat het om grotere eenheden gaat, waarvan er minder in één de sluiskolk passen waardoor extra schuttingen nodig zijn. Ook gaat het voornamelijk om geladen scheepvaart (langzamere in- en uitvaartijden).

Sluisanalyse

Om te bepalen hoe de wachttijden bij sluis Grave zich naar de toekomst toe ontwikkelen, is de keuze van het basisjaar erg belangrijk. Om dat te illustreren, kunnen de wachttijden van het jaar 2019, dat te classificeren valt als een jaar met een goede bevaarbaarheid van de Waal, worden vergeleken met het jaar 2018 dat zich juist kenmerkte door een maandenlange laagwaterperiode. Voor het jaar 2019 becijfert de IMA/NMCA 2021 een wachttijd van gemiddeld 21 minuten. Daarmee is sluis Grave geen capaciteitsknelpunt. Had men er in de IMA voor gekozen om 2018 als basisjaar te nemen, dan gaat het om een wachttijd van 54 minuten. Hiermee wordt de SVIR-norm van 30 minuten wachttijd ruimschoots overschreden en daarmee zou sluis Grave al in 2018 als knelpunt moeten worden getypeerd.

De IMA/NMCA becijfert dat sluis Grave ook in 2050 geen knelpunt is, ongeacht het economische scenario. Dit is echter uitgaande van de volumes die zijn afgeleid van het basisjaar 2014 – ook een jaar met een goede bevaarbaarheid van de Waal. De analyse in de IMA houdt verder geen rekening met klimaatverandering, bodemerosie en bodemdaling die wel in dit onderzoek zijn meegenomen. Gaan we uit van wijzigende rivierafvoeren conform het klimaatscenario WHdry en een laag economisch groei scenario, dan nemen de wachttijden in 2050 toe naar gemiddeld 85 minuten, ten opzichte van 22 minuten in de IMA. Voor het hoge economische groei scenario wordt in 2050 wordt een gemiddelde wachttijd berekend van 319 minuten (6 uur en 19 minuten), ten opzichte van 27 minuten in de IMA.

Het capaciteitsknelpunt in Grave is hiermee hoger dan de toekomstige wachttijden die in de IMA voor 2050 worden gerealiseerd voor de sluizen in Nederland waar eveneens capaciteitsknelpunten worden verwacht. Het gaat hier bij om de Kreekraksluizen (57 minuten in WLO Laag tot 152 minuten in WLO Hoog), de Oostersluis te Groningen (46 tot 64 minuten) en de Volkeraksluizen (42 tot 80 minuten)⁶. Een nadere uiteenzetting van deze resultaten is te vinden in hoofdstuk 5.

De IMA/NMCA kijkt niet verder dan zichtjaar 2050. Voor deze analyse, die uiteindelijk leidt tot een MKBA, is een doorkijk van een periode van 100 jaar noodzakelijk. Doorzettende klimaatverandering leidt in 2120 tot een gemiddelde wachttijd van 187 minuten (3 uur en 7 minuten) in het lage economische groei scenario. In het hoge scenario gaat het om gemiddeld 1231 minuten (20 uur en 31 minuten). In het hoge economische groei scenario kan de sluis de toename van het verkeer, zowel het gevolg van autonome ontwikkeling als klimaatverandering, niet aan. Er ontstaan zeer langdurige wachttijden. Ook het aantal vaartuigverliesuren neemt sterk toe. Dit wordt nader uitgewerkt in hoofdstuk 5.

In een situatie met een **tweede kolk**, blijven de wachttijden bij sluis Grave beperkt. Zelfs in het scenario met het meeste verkeer (2120 Hoge economische groei in combinatie met WHdry), blijven de wachttijden beperkt tot maximaal 20 minuten.

⁶ Zie hiervoor de Achtergrondrapportage Vaarwegen voor de Integrale Mobiliteitsanalyse (IMA) van RWS (2021): <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/06/29/bijlage-4-achtergrondrapport-3-vaarwegen>



Maatschappelijke kosten- en batenanalyse voor een tweede kolk bij sluis Grave

Een MKBA heeft een rendabel resultaat als de Netto Contante Waarde (NCW) van kosten en baten positief is of de baten-kostenratio groter of gelijk aan 1 is. Conform de Leidraad OEI moeten bij een maatschappelijke kosten-batenanalyse zowel kosten als baten worden berekend voor een economisch hoge groei scenario als een lage groei scenario. Hierbij geldt het lage scenario als de ondergrens en het hoge scenario als de bovengrens van het maatschappelijk rendement. De ondergrens ligt nipt onder de 1, de bovengrens juist zeer ruim boven de 1. Op basis van de maatschappelijke kosten-batenanalyse kan daardoor gesteld worden dat het aanleggen van een tweede sluiskolk bij Grave zeer waarschijnlijk maatschappelijk rendabel is.

In het economisch lage scenario bedraagt de baten-kosten ratio 0,79 (of 0,77). Dat betekent dat het project maatschappelijk onrendabel is. Er zijn evenwel significante economische baten die over 100 jaar berekend de kosten lijken te benaderen. Het maatschappelijk rendement, uitgedrukt in termen van de interne rentevoet van het project, bedraagt 1,8%. Daarmee is de interne rentevoet net iets hoger dan de disconteringsfactor voor 'vaste kosten' à 1,6%. Zie tabel A voor een detaillering van de baten en kosten.

Tabel A: Samenvattende MKBA-tabel voor het lage economische scenario (waarden in miljoenen euro's NCW)

	Tweede sluiskolk Grave <i>Geen verdieping buisleidingstraat</i>	Tweede sluiskolk Grave <i>Verdieping buisleidingstraat</i>
	<i>Niftrik</i>	<i>Niftrik</i>
Reistijdbaat	110,5	110,7
Betrouwbaarheidsbaat	20,1	20,0
Klasse Vb Maasroute	3,0	3,3
Robuustheidsbaat	1,6	1,6
Verdieping Maasroute	0	1,0
Emissiebatens	3,7	4,5
Indirecte effecten	19,3	19,6
Uitwijkend volume Rijn	PM	PM
Nautische veiligheid	+	++
Natuur	+	++
Totale baten	158,2	160,7
Investeringskosten	169,3	178,2
Onderhoudskosten	30,3	30,3
Totale kosten	199,6	208,5
Saldo	-41,5	-54,2
Baten/kosten ratio	0,79	0,77
Interne rentevoet	1,8%	1,7%

Een belangrijk gedeelte van de baat is het gevolg van reistijdbaten. Deze ontstaan doordat schepen minder lang hoeven te wachten dan in de referentiesituatie met slechts één kolk. Het klimaatsscenario gaat uit van een toenemende kans⁷ op lage rivierafvoeren op de Waal, waardoor het aantal dagen met lage waterstanden in vergelijking met nu sterk toeneemt. Hierdoor wijken veel schepen uit naar sluis Grave.

Het aanleggen van een tweede sluiskolk bij Grave draagt bij aan **meer nautische veiligheid** op de Waal⁸ ten tijde van laag water. Bijvoorbeeld omdat ook lege schepen, door het ontbreken van (lange) wachttijden geneigd zullen zijn via Grave te varen. Ook zijn effecten op de Maashavens niet kwantitatief meegenomen in de MKBA-beschouwing. Zeker ten tijde van langdurig lage waterstand blijkt een gedeelte van het scheepvaartverkeer naar de Duitse Rijn omgebogen te worden naar de Maashavens. Dit effect kan bijdragen om de baten-kostenratio verder richting de 1 te stuwen. Tot slot geldt dat er beperkte baten zijn op natuurgebieden die in de nabijheid van sluis Grave zijn gelegen. Doordat de schepen minder lang hoeven stil te liggen, stoten zij minder stikstofemissies uit. Diverse natuurgebieden kunnen daarvan profiteren.

⁷ In 2050 is de verwachting dat bij het klimaatsscenario WHdry het aantal dagen waarbij er met een diepte van minder dan 250 centimeter gevaren kan worden toeneemt naar 47 per jaar, tegen 18 nu. Zie paragraaf 3.4.3.

⁸Tijdens langdurige laagwaterstanden neemt het aantal ongevallen op de Waal toe: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-31409-252.pdf>



In het economisch hoge scenario bedraagt de baten-kostenratio voor een tweede sluiskolk namelijk 6,18. Hiermee is het een zeer rendabel project.

Tabel B: Samenvattende MKBA-tabel voor het hoge economische scenario (waarden in miljoenen euro's NCW)

	Tweede sluiskolk Grave <i>Geen verdieping buisleidingstraat</i> <i>Niftrik</i>	Tweede sluiskolk Grave <i>Verdieping buisleidingstraat</i> <i>Niftrik</i>
Reistijdbaat	920,6	929,6
Betrouwbaarheidsbaat	127,3	128,0
Klasse Vb Maasroute	3,7	4,1
Robuustheidsbaat	2,0	2,0
Verdieping Maasroute	0	1,1
Emissiebaton	21,0	22,3
Indirecte effecten	149,1	150,7
Uitwijkend volume Rijn	PM	PM
Nautische Veiligheid	+	++
Natuur	+	++
Totale baten	1.223,7	1237,8
Investeringskosten	169,3	178,2
Onderhoudskosten	30,3	30,3
Totale kosten	199,6	208,5
Saldo	1.024,1	1.038,2
Baten/kosten ratio	6,18	5,98
Interne rentevoet	8,6%	8,5%

De hoge baten zijn het gevolg van een overaanbod aan schepen als gevolg van een sterke groei van het verwachte scheepvaartvolume bij sluis Weurt (zie ook de IMA) en de verwachte klimaateffecten, waardoor de rivierafvoeren op de Waal sterk teruggelopen. Met name in het najaar nemen de wachttijden sterk toe. Het is immers economisch gunstiger om over de oost-westtak van de Maasroute te varen met een gegarandeerde diepgang van 3,20 meter (waardoor circa 90% beladen kan worden in plaats van de ondiepe route over de Waal (waterstanden van 1,50 meter - 15 tot 20% belading)). In totaal besluiten dusdanig veel schepen de route via sluis Grave te kiezen, dat de schutcapaciteit van de sluis gedurende lange periodes overschreden wordt. In de praktijk zullen verladers en binnenvaartschippers andere oplossingen kiezen. Aangezien varen over de Waal en langdurig wachten bij sluis Grave geen opties zijn. Andere oplossingen zijn omvaren via het Albertkanaal, het kiezen van een andere modaliteit (vrachtauto) of het verminderen van de productie. Met deze oplossingen ontstaat ook economische schade, mogelijk zelfs meer dan de gecijferde schade als gevolg van het langdurig wachten.

Conclusie

Dit specifieke onderzoek naar sluis Grave toont aan dat er t.o.v. de IMA in 2050 in zowel het hoge als lage groeiscenario een aanzienlijk capaciteitsknelpunt lijkt te ontstaan. Dit als gevolg van extra binnenvaartstromen die onder normale vaarwegomstandigheden via Weurt (Maas-Waalkanaal) zouden passeren. Door de toenemende kans op lage waterstanden op de Waal wijken deze stromen uit naar sluis Grave.

Hiermee toont dit specifieke onderzoek naar sluis Grave aan dat het maatschappelijk belang voor een 2e grote sluiskolk bij sluis Grave groter is dan uit de IMA 2021 naar voren is gekomen. Zowel de analyse naar vaartuijverliesuren in 2050 en de vergelijking met de verwachte capaciteitsknelpunten bij andere sluiscomplexen als de MKBA-score die aan de hand van dit specifieke onderzoek voor sluis Grave heeft plaatsgevonden tonen aan dat dit belang aanzienlijk is. Bovendien neemt door het aanleggen van een tweede kolk de nautische veiligheid op de Waal toe doordat er ook voor lege schepen een prikkel bestaat om tijdens lage waterstanden op de Waal de route over de Maas te verkiezen. Al met al geldt dat de vlotheid, betrouwbaarheid en robuustheid van de oost-westtak van de Maas met de 2^e sluiskolk zal toenemen, en daarmee ook de verbinding tussen Noord-Brabant en Limburg enerzijds, en de zeehavens anderzijds.

Daarbij is het advies om het aanleggen van een tweede sluiskolk bij Grave te combineren met de geplande vernieuwing van de oude Stuw Grave die in 2028 moet zijn vervangen.



Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Inhoudsopgave	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding voor de opdracht	9
1.2 Doel van de opdracht	10
1.3 Onderzoeksvragen	11
1.4 Leeswijzer	12
2 Probleemanalyse	13
2.1 Volumes	13
2.2 Functie in het netwerk	14
2.3 Wachttijden	16
2.4 Stremmingen	17
3 Rivierkundige analyse	19
3.1 Doelstelling	19
3.2 Ontwikkeling van de afvoeren	20
3.3 Werkwijze	22
3.4 Vergelijking nautische omstandigheden Maas en Waal	24
3.5 Aantal dagen per jaar met maatgevende diepgang	29
4 Vervoerkundige analyse	33
4.1 Regulier scheepvaartverkeer door sluis Grave	33
4.2 Uitwijkend verkeer bij laagwater op de Waal	38
4.3 Extra vraag door uitwijk vanaf de Rijn	42
5 Sluisanalyse	45
5.1 Werkwijze	45
5.2 Sluisconfiguratie	46
5.3 Uitkomsten	47
5.4 Vergelijking met de IMA	47
6 Maatschappelijke kosten-baten analyse	51
6.1 Werkwijze bij een MKBA	51
6.2 Uitgangspunten bij de Maatschappelijke Kosten Baten Analyse	52
6.3 Het referentiealternatief	54
6.4 De projectalternatieven	54
6.5 Te verwachten effecten	56
6.6 Resultaten	58
6.7 Gevoeligheidsanalyse	61
7 Conclusies en aanbevelingen	63
7.1 Conclusies	63
7.2 Aanbevelingen	66
Bijlagen	67
Bijlage 1 Ontwikkelingen met bodemerosie	67
Bijlage 2 Correctiefactoren voor toekomstige afvoeren	71
Bijlage 3 Overzicht sluisberekeningen	75
Bijlage 4 Werkwijze bij het berekenen van emissiebatens	85
Bijlage 5 Toelichting op de MKBA	87



1 Inleiding

1.1 Aanleiding voor de opdracht

1.1.1 *Huidig sluiscomplex Grave*

Het huidige sluiscomplex te Grave, is gezien zijn enkele sluiskolk en zijn geringe afmeting (142x16x3,2m, Klasse Va) zeer kwetsbaar voor storingen en niet in staat om de maatgevende klasse Vb-schepen op de Maascorridor te kunnen faciliteren..

Dit terwijl de Maas met het project Maasroute, waar de afgelopen jaren zo'n 748 miljoen euro aan Rijksmiddelen incl. EU-subsidie⁹ is geïnvesteerd, geschikt is gemaakt voor klasse Vb. Daarnaast zijn alle overige 7 sluiskolken¹⁰ op de Maascorridor voorzien van minimaal 2 sluiskolken per sluiscomplex en is ieder van deze sluiscomplexen voorzien van in ieder geval 1 grote sluiskolk van meer dan 200 meter lengte.

Zo is ook de sluis bij Lith die eveneens is gelegen op de minder drukke oost-westtak van de Maas reeds in 2002 voorzien van een nieuwe 2^e sluiskolk.

Dit beeld, de kwetsbaarheid van sluis Grave, wordt bevestigd door het onderzoek "Robuuste Vaarwegen" dat in 2020 is uitgevoerd onder het programma Goederenvervoercorridors Oost en Zuidoost. Ook de kwetsbaarheid van de sluis ten tijde van de lange droogte in 2018 is duidelijk naar voren gekomen.

1.1.2 IMA (voorheen NMCA)¹¹

Uit de nieuwe IMA 2021 blijkt dat sluis Grave geen capaciteitsknelpunt is dan wel wordt. De sluis wordt wel aangemerkt als een robuustheidsknelpunt.

De reguliere IMA/NMCA-systematiek, waarin er wordt gekeken naar de vertraging¹² om een specifieke sluis te passeren, laat in het geval van sluis Grave onvoldoende de (economische) noodzaak van een tweede sluiskolk zien, afgezien van 2018 toen de gemiddelde wachttijd 54 minuten bedroeg. Echter wordt dit bekeken op corridorniveau, in relatie tot laag water op de Waal en de problematiek van sluiscomplex Weurt, dan kan het belang van deze sluis en dus een tweede sluiskolk voor de robuustheid van deze vaarwegcorridor een heel ander beeld laten zien.

Omdat sluis Grave te klein is om klasse Vb-schepen toe te laten, kan ook niet uit de reguliere IMA/NMCA-systematiek worden herleid of en hoe de klasse Vb-schepen en vervoersstromen zouden varen/lopen indien dit wel het geval zou zijn. Van belang is om te bekijken wat de toegevoegde waarde van sluis Grave zou zijn als dit wel het geval zou zijn.

1.1.3 Onderzoek Robuuste Vaarwegen

Het onderzoek "Robuustheid Vaarwegen" op de goederencorridors Oost en Zuidoost dat in het kader van het MIRT programma Goederenvervoercorridors is uitgevoerd, bood evenwel ruimte om de sluis en de kabels en leidingen bij Niftrik in het kader van de robuustheid van de gehele vaarwegcorridor in beeld te brengen. Samen met de corridorpartijen, de binnenvaartsector en verladers zijn door onderzoeksbureau Lieveense in meerdere regio's in de Goederencorridors de belangrijkste vaarwegknelpunten in beeld gebracht. Deze knelpunten zijn vervolgens door de vaarwegspecialisten van de corridorpartijen en BLN-Schuttevaer gefilterd en in een maatregelenpakket van de 8 meest prioritaire vaarwegmaatregelen in het

⁹ Bron: MIRT projectenboek 2022

¹⁰ Op de Maascorridor liggen de volgende sluizen: Lith, Grave, Sambeek, Belfeld, Heel, Maasbracht en Born (Nederlands gedeelte). Op de Nederlands/Belgische grens ligt sluis Ternaaien die ook meegerekend is. Het vervolg van de Maas, op Waals grondgebied, kent nog vier sluizen (Ivoz-Ramet, Ampsin-Neuville, Andenne-Seilles en Grands Malades) die allen geschikt zijn voor klasse Vb schepen. Daarbij zijn de sluizen van Ivoz-Ramet en Ampsin-Neuville uitgevoerd met twee sluiskolken, de overige sluizen beschikken over slechts één kolk.

¹¹ Integrale Mobiliteitsanalyse / Nationale Markt en Capaciteitsanalyse (I&W, 2021)

¹² Wachttijd bij de sluis, gemiddeld genomen over het gehele jaar



directeurenoverleg en later ook in het BO-MIRT Goederenvervoercorridors van eind november 2020 bekrachtigd.

1.1.4 *Stuw Grave*

Omdat zowel de stuw als de Thompsonbrug (1930) het einde van hun levensduur bereiken is de wens deze opgave – de mogelijke aanleg van een tweede sluiskolk – te beschouwen in samenhang met de V&R opgave Stuw Maas en mogelijk ook dit van de Thompsonbrug. Hiermee kan een optimalisatie worden bereikt in de onderzoeksfase en realisatiefase.

Om de preverkenning naar de meerwaarde van sluis Grave op een goede manier uit te kunnen werken zal deze worden onderverdeeld in twee deel onderzoeken.

1. Een onderzoek naar de meerwaarde van een nieuwe sluiskolk Grave voor de gehele Maascorridor. Dit omdat de huidige sluiskolk in Grave, t.o.v. de overige 7 sluiscomplexen op de Maas qua capaciteit en functionaliteit, de bottleneck vormt die in de weg staat om de gehele Maascorridor vanaf Ternaaien tot het Hollands Diep als klasse Vb-vaarweg in te zetten. Een nieuwe tweede sluiskolk lijkt daarom belangrijk om de Maas als serieus vaarwegalternatief te kunnen gebruiken voor klasse Vb-schepen op de noord-zuidtak van de Maas die nu nog gebruik moeten maken van de Waal (Maas-Waalkanaal en sluis Weurt) om Rotterdam te kunnen bereiken. Ten tijde van laagwater op de Waal, fungeert de oost-westtak van de Maas reeds als vaarwegalternatief en zorgt deze (seizoens)toename van het scheepaanbod voor zeer lange wachttijden op sluis Grave. Een tweede grotere sluiskolk zorgt ervoor dat de schutcapaciteit van het sluiscomplex wordt vergroot en dat tegelijkertijd ook klasse Vb schepen gebruik kunnen maken van dit vaarwegalternatief (i.p.v. slechts alleen kleinere schepen tm klasse Va). Bij dit onderzoek moeten de maatschappelijke kosten en baten voor uitbreiding sluiscapaciteit bij Grave ook in kaart gebracht worden.
2. Het onderzoek naar de meerwaarde van de samenhang van de bouw en ontwikkeling van een nieuwe sluis(kolk) Grave in relatie tot de V&R-opgave van nieuw stuwcomplex Grave.

Voorliggende rapportage heeft enkel betrekking op deelonderzoek één.

1.2 **Doel van de opdracht**

Het onderzoek heeft als doel om aan de hand van kwantitatieve scheepvaartdata die zijn toegepast bij de IMA 2021 andere dwarsdoorsnedes te verrichten die buiten de reguliere IMA/NMCA methodiek vallen. Tevens dienen onderstaande kwalitatieve ontwikkelingen in ogenschouw te worden genomen:

- De invloed van klimaatverandering.
- De nautische veiligheid op de Waal die in periodes van droogte kan toenemen mocht een 2^e sluiskolk in Grave worden gerealiseerd. Hierdoor kan de Maas immers als volwaardige alternatieve vaarweg worden ingezet voor binnenvaartschepen uit Limburg met bestemming en herkomst Rotterdam die anders via de Waal zouden varen. Dit laatste is van groot belang omdat de in deze periode smallere vaargeul op Waal als gevolg van de beperkte aflaaddiepte al meer dan normaal wordt gebruikt.
- De verwachte ontwikkelingen in binnenvaartstromen op de Maas
- De gerealiseerde infrastructurele ontwikkelingen op het Belgische deel van de Maas (Luik/Namen).



Hierbij is het de bedoeling om inzichtelijk te maken, voor de gehele Maascorridor, wat de economische effecten zijn van laag water op de Waal en het gemis van een grote sluiskolk (klasse Vb).

1.3 Onderzoeksvragen

Het onderzoek dient integraal te worden opgepakt en de belanghebbenden die eerder aan het onderzoek Robuustheid Vaarwegen Goederenvervoercorridors Oost en Zuidoost hebben deelgenomen dienen betrokken en geraadpleegd te worden voor het onderzoek. Het onderzoek dient het bovengenoemde doel te bewerkstelligen door onder andere de volgende aspecten uit te werken.

1.3.1 *Uitgangspunten:*

Als uitgangspunten worden gesteld dat de Oostkolk van sluis Weurt in het kader van V&R verdiept zal worden aangelegd en de sluiscapaciteit bij Sint-Andries niet zal worden uitgebreid.

1.3.2 *Vragen*

Tevens dienen de vragen te worden uitgewerkt conform de enkele scenario's:

1. Situatie met nieuwe grote tweede sluiskolk Grave versus huidige situatie
2. Al dan niet verdiepen van de leidingstraat bij Niftrik:
 - Maatgevend hoogwater in de Maas van 3,20m +NAP (situatie waarin leidingstraat bij Niftrik niet wordt verdiept)
 - Maatgevend hoogwater in de Maas van 3,50m +NAP. (situatie met verdieping leidingstraat bij Niftrik)
3. Economische scenario's conform WLO Hoog en Laag
4. Waterstanden op de Waal voor het zichtjaar in 2120 aan de hand van drie rivierkundige scenario's zoals reeds is toegepast in het onderzoek "Deelcorridoranalyse en -prognose Maaswaalkanaal" van Witteveen en Bos 2021:
 - Conservatief: klimaatscenario Whdry en een ongewijzigd rivierbodembeleid waardoor de trend in bodemerosie doorzet tot 2120;
 - Plausibel: klimaatscenario Whdry en een eroderende trend tot 2050 waarna de bodem in stand gehouden wordt tot 2120.
 - Ambitieuw: klimaatscenario GL en een ambitieus rivierbodembeleid dat uitgaat van terugbrengen van de rivierbodem naar het niveau uit 2010;

In overleg met Rijkswaterstaat Oost-Nederland is later besloten om uit te gaan van twee scenario's: bodemerosie en bodemherstel. Toelichting hierop volgt in hoofdstuk 3.

1.3.3 *Kwantitatieve aspecten:*

1. Inzicht in de maatschappelijke baten die een tweede nieuwe grote sluiskolk in Grave genereert voor de gehele Maascorridor (Ternaaien-tot aansluiting Hollands Diep).
2. De aantallen schepen die over het Maas-Waalkanaal en over de Oost-West verbinding van de Maas varen voor nu als voor 2040/2050 o.b.v. de vervoersgegevens uit de IMA 2021.
3. Het aantal dagen per jaar van laag water op de Waal (zijnde het moment dat de maximale aflaaddiepte op de Waal minder wordt dan die van de Maas en een uitwijk naar de Maas economisch interessant begint te worden) voor nu als voor de klimaatscenario's in 2050 en 2120.
4. De gemiddelde wachttijden bij sluis Grave voor nu als voor 2040/2050 zoals opgenomen in de IMA 2021 specificeren naar een gemiddelde vertraging op piekmomenten als gevolg van laagwater op de Waal.



5. De economische impact van de gemiddelde vaartuigverliesuren op piekmomenten bij sluis Grave voor nu als voor 2040/2050 aan de hand van de gemiddelde vaartuigverliesuren zoals opgenomen in de IMA.
6. De economische impact van het niet optimaal benutten van de maximale aflaaddiepte van schepen op de Waal met herkomst en bestemming Limburg voor nu als voor 2040/2050 zoals opgenomen in de IMA 2021.
7. De economische impact van het omvaren van klasse Vb-schepen en overige schepen voor de huidige vervoersstromen als voor de vervoersstromen in 2040/2050 uitgaande van de vervoersgegevens uit de IMA2021.
8. Een indicatie van de LCC-kosten voor het realiseren van een nieuwe extra sluis bij Grave en het verdiepen van de leidingenstraat bij Niftrik.
9. Een inschatting van de economische impact van het niet optimaal benutten van de Waal en bij sluis Weurt in periodes van hoog water aan de hand van het onderzoek van Witteveen en Bos.

1.3.4 *Kwalitatieve aspecten:*

10. Inzicht in de extra vervoersstromen in periodes van uitzonderlijke droogte zoals in 2018 waarbij de Maas als alternatief kan fungeren voor Duitse bestemmingen die anders via de Rijn zouden worden vervoerd.

1.4 **Leeswijzer**

- In hoofdstuk 2 gaan wij in op het huidige probleem bij het sluizencomplex van Grave. We schetsen de omvang van het verkeer en geven de ontwikkeling van de wachttijden aan.
- Hoofdstuk 3 gaat vervolgens in op de rivierkundige analyse. Voor diverse klimaat- en bodemontwikkelingsscenario's wordt uiteengezet hoe deze de omvang van het verkeer bij Grave beïnvloeden.
- Hoofdstuk 4 geeft de vervoerskundige analyse. Er wordt aangegeven welk deel van de vloot bij Grave als regulier verkeer aangemerkt kan worden en welk deel van de vloot als 'omvarend verkeer'. Voor deze vloten schetsen we de verdeling van scheepsgrootteklassen in het basisjaar (2019) en voor het toekomstjaar. We geven aan wat de herkomst- en bestemmingspatronen van het verkeer zijn.
- Hoofdstuk 5 behandelt de sluisanalyse met SIVAK. We gaan in op de wachttijdontwikkeling voor verschillende waterscenario's en doen dat voor zowel het basisjaar (2019) met één sluiskolk als voor toekomstjaren (2050 en 2120) voor een combinatie van economische scenario's (hoge en lage groei) en klimaatscenario's (WHdry en GL).
- Hoofdstuk 6 gaat vervolgens in op de Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse (MKBA). Daarbij worden werkwijze en uitgangspunten geschetst. Ook wordt een toelichting gegeven op de te verwachten effecten en vervolgens worden deze effecten zoveel als mogelijk in geld uitgedrukt. We sluiten dit hoofdstuk af met een samenvattende tabel en een gevoeligheidsanalyse.
- In hoofdstuk 7 geven we de belangrijkste conclusies van het onderzoek weer en geven we aanbevelingen.



2 Probleemanalyse

De Maas is reeds bevaarbaar voor de binnenvaart vanaf Verdun, diep in Frankrijk. Hier kunnen schepen van het formaat spits (CEMT I, 39 meter x 5 meter) de rivier bevaren. Bij Givet (grens Frankrijk / België) wordt de Maas bevaarbaar voor middelgrote schepen (CEMT IV, 100 x 9,60 x 2,50 meter). Vanaf Namen is grote scheepvaart mogelijk (CEMT VI, 135 x 15,0 x 3,0 meter) en kunnen ook tweebaksduwstellen (CEMT Vb, 190 x 11,5 x 3,0 meter) varen¹³. Binnen Nederland is de Maas reeds bevaarbaar voor schepen voor schepen van CEMT-klassen VI en duwstellen van klasse Vb, maar dat geldt nog niet voor het Julianakanaal¹⁴. De Maasroute moet een gegarandeerde diepgang van 3,50 meter voor de schepen faciliteren op het traject Heumen – Ternaaien¹⁵. Ook op de Oost-West tak van de Maas is deze diepgang mogelijk, behoudens bij de kabelstraat van Niftrik en de bestaande sluis van Grave. Daar geldt een diepgangsbepijking van 3,20 meter. Bovendien is de sluisolk van Grave niet lang genoeg om schepen van CEMT-klasse Vb te faciliteren. Daarmee verhindert sluis Grave als enige sluizencomplex op de Maasroute de volledige doorvaart van klasse Vb schepen.

2.1 Volumes

De Maas wordt intensief gebruikt door de scheepvaart. De volumes zijn weliswaar niet zo hoog als de Waal (135 miljoen ton), maar liggen wel significant hoger dan alle andere zijrivieren van de Rijn en Waal. Ter vergelijking met andere belangrijke Europese waterwegen¹⁶:

- Het volume op de Geldersche IJssel bedraagt ca. tien miljoen ton lading per jaar;
- Het volume op de Neder-Rijn bedraagt ongeveer zes miljoen ton per jaar.
- Het volume op de Moezel bedraagt ca. tien miljoen ton per jaar;
- Het volume op de Neckar bedraagt ongeveer vijf miljoen ton per jaar;
- Het volume op de Main-Donau corridor bedraagt ca. vijftien miljoen ton per jaar.
- Het volume op het Albertkanaal bedraagt ongeveer 35 miljoen ton per jaar.
- Het volume op de Leie bedraagt ongeveer tien miljoen ton per jaar;
- Het volume op de Schelde bedraagt eveneens ongeveer tien miljoen ton per jaar.

Binnen Nederland geldt dat het traject vanaf het Maas-Waalkanaal tot de binnenhaven van Venlo het drukst bevaren wordt. Het jaarlijkse volume daar bedraagt ongeveer **20 à 25 miljoen ton**. Bij Maastricht is het volume teruggelopen tot ongeveer 13 miljoen ton. Het Oost-West gedeelte van de Maas wordt aanmerkelijk minder intensief bevaren. Het volume bij Grave bedraagt onder normale omstandigheden qua waterstanden ordegrrootte **3 à 5 miljoen ton** per jaar. Dit betreft het verkeer tussen de noord-zuidtak van de Maas en de binnenhavens in Noord-Brabant (Waalwijk, Den Bosch, Veghel, Oss, etc.). Het zijn veelal kleine(re) schepen die dit transport uitvoeren en het overgrote merendeel van de goederen die vervoerd worden, betreft zand & grind.

Deze binnenhavens langs de Maas vertegenwoordigen een grote waarde voor de regionale economie. In totaal gaat het om minstens € 591 miljoen per jaar aan directe en indirecte toegevoegde waarde in de Maashavens Oss, Cuijk, Gennep, Venray, Venlo,

¹³ Onlangs is de eerste klasse Vb kolk gereed gekomen: <https://www.flows.be/nl/transport/bottleneck-op-maas-tussen-antwerpen-en-wallonie-weg-met-nieuwe-sluis>

¹⁴ De laatste werkzaamheden worden momenteel uitgevoerd. Verwachte oplevering eind 2023.

¹⁵ In Wallonië is 3,40 meter diepgang mogelijk vanaf Ternaaien (Lanaye) tot Ivoz-Ramet, Daarna bedraagt de diepgang 3,0 meter tot en met Namen.

¹⁶ De hierbij genoemde volumes zijn afgeleid uit sluisstellingen van IVS (Neder-Rijn), BIVAS (IJssel), jaarrapporten van de WSV (Moezel, Neckar, Main-Donau Corridor) en statistieken van de Vlaamse Waterweg (Albertkanaal, Leie en Schelde).

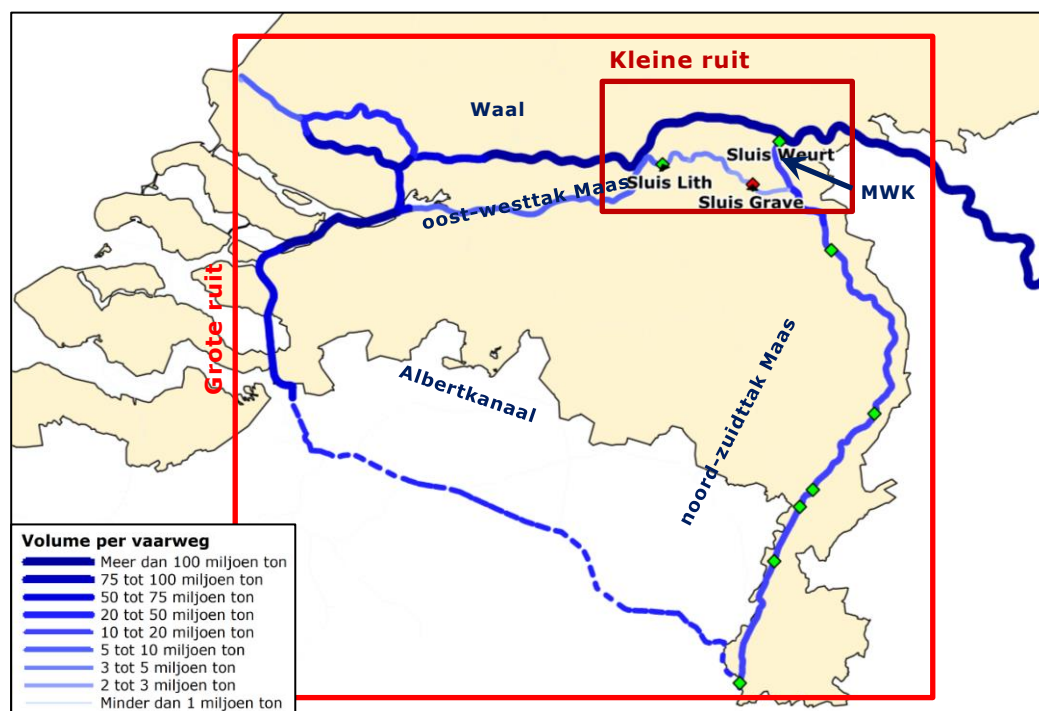


Born en Stein die in de binnenhavenmonitor als casus zijn uitgewerkt. Maar ook de binnenvaartoverslag in onder andere de gemeenten Maastricht, Roermond, Maasgouw en Boxmeer is van groot economisch belang¹⁷.

2.2 Functie in het netwerk

Sluis Grave is onderdeel van 'De Kleine Ruit' (zie figuur 1). Dit is een netwerk met veel interacties, waarbij de routekeuze bepaald kan worden door waterstanden en wachttijden bij kunstwerken die bepalend zijn voor de reistijd. Zo is de oost-westtak een alternatieve vaarroute voor de Waal, bijvoorbeeld op verbindingen tussen Maastricht en Rotterdam die normaliter via de Maas, het Maaswaal-kanaal (MWK) en de Waal richting Rotterdam varen. Ook de grote ruit is ingetekend, deze wordt gevormd door de Schelde-Rijnverbinding en het Albertkanaal. Ten tijde van de stremming van de Maas als gevolg van het stuwincident (januari 2017) bleek ook deze grote ruit van groot belang.

Figuur 1: Overzicht van het vaarwegennetwerk en de sluisen, inclusief volumes in het jaar 2019 (bron: Panteia, gebaseerd op BIVAS) –
MWK = Maaswaalkanaal



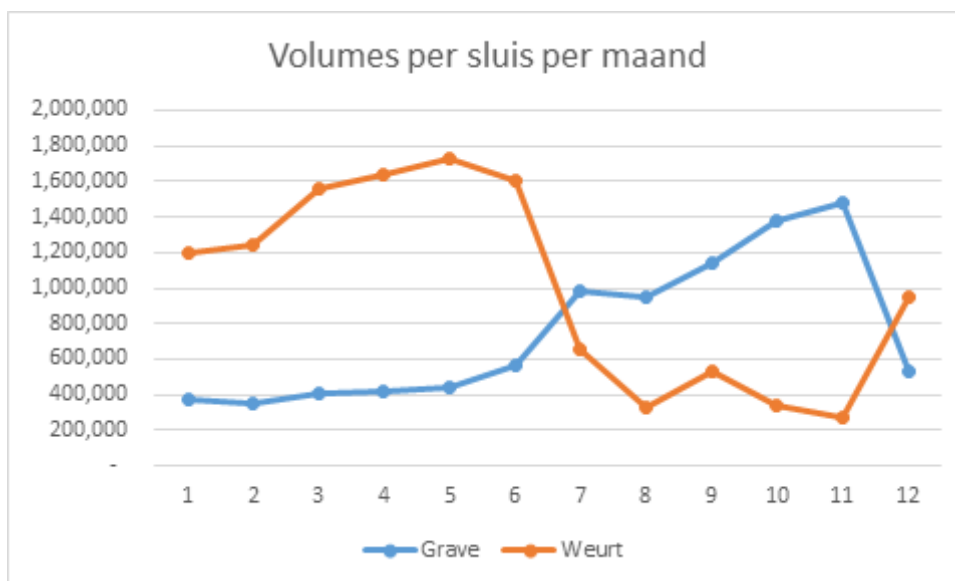
In bepaalde situaties kiest de scheepvaart massaal voor de oost-west tak via Grave. Dit kan voorkomen bij (langdurige) stremming bij Weurt of laagwater op de Waal. In deze gevallen is het nadelig dat sluis Grave de enige sluis op de Maasroute is met één sluiskolk. Hierdoor is de capaciteit beperkt en lopen de wachttijden (snel) op. Betrouwbaarheid van de reistijd op dit vaarwegennetwerk is dan in het geding.

De uitwisselbaarheid van de routes via de oost-westtak van de Maas en de Waal volgt uit onderstaande figuur. Hierbij is per maand in 2018 aangegeven wat de omvang is van het vervoerd tonnage bij sluis Weurt en sluis Grave.

¹⁷ Binnenhavenmonitor 2021



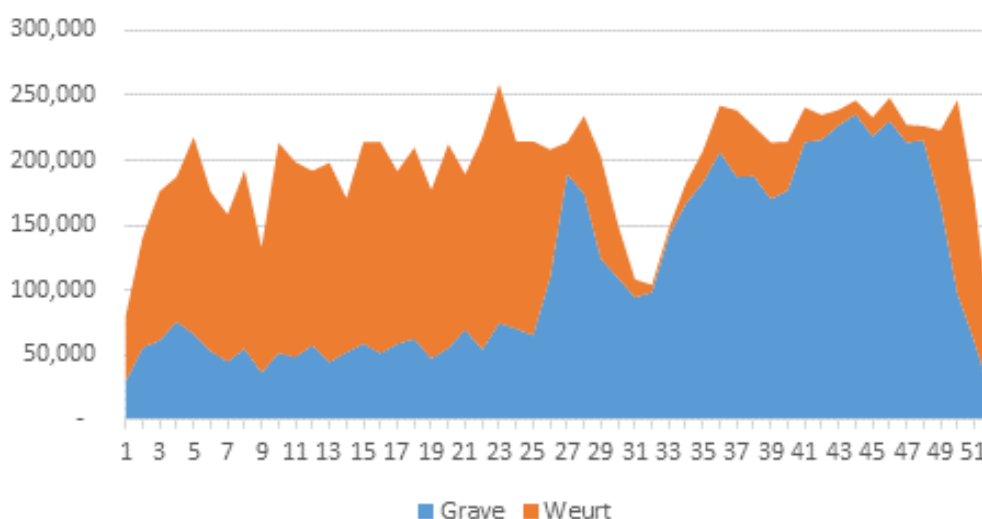
Figuur 2: Volumes per maand door sluis Grave (bron: BIVAS reizenbestand en referentiepassages 2018, bewerking Panteia)



Het gemiddelde volume in de maanden januari t/m juni 2018 (gunstige omstandigheden op de Waal), bedroeg 1,2 miljoen ton per maand bij Weurt. Gegeven het feit dat 16% van het verkeer vaart in relatie tot Oost-Nederland of Duitsland¹⁸, kunnen we stellen dat 240.000 ton in oostelijke richting gaat (en dus per definitie via Weurt moet) en dat 960.000 in relatie tot het westen staat. Vrijwel alle goederen van die 960.000 ton zijn uitgeweken via Grave in de maanden augustus – november 2018.

Onderstaande grafiek laat specifiek (per week) zien hoe de volumes tussen Vlaanderen en West-Nederland enerzijds en Limburg en Noord-Brabant anderzijds, zich hebben verdeeld over sluis Grave en Weurt.

Figuur 3: Volumes tussen de zeehavens en binnenhavens langs de Maas en Limburg, via sluis Grave en sluis Weurt per week (bron: Panteia op basis van BIVAS reizenbestand en referentiepassages 2018)



De eerste piek (begin juli) is veroorzaakt door een stremming van de Westkolk Weurt. Kort daarna was het bouwvak met dalende volumes van bouwmaterialen. Na deze bouwvak zie je het effect van laagwater. Gedurende deze periodes was de MGD op de Waal reeds erg laag (ongeveer 200-210 cm).

¹⁸ Witteveen+Bos (2021)

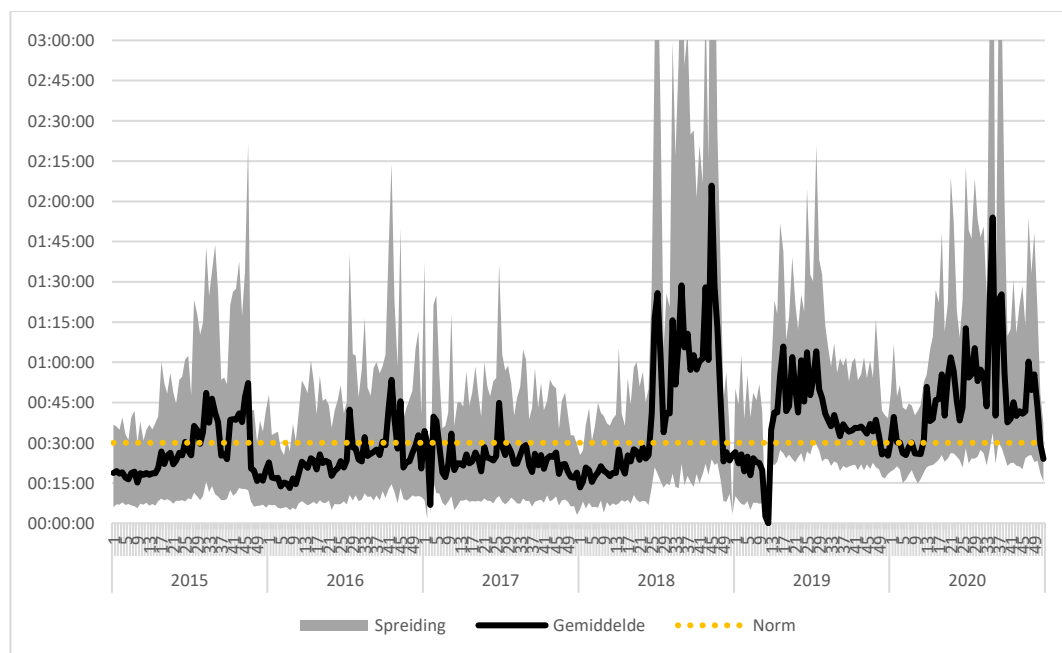


2.3 Wachttijden

Tijdens periodes van **laagwater** op de Waal, wordt de Oost-West tak van de Maas veel intensiever benut. Door de gegarandeerde diepgang van 3,20 meter, kunnen schepen vanuit de zeehavens onderweg naar Limburg via de Oost-West tak van de Maasroute veel meer lading vervoeren dan via de Waal. Normaal varen deze schepen via de Waal en het Maas-Waal kanaal naar de noord-zuidtak van de Maas. Deze route is in tijd korter en betrouwbaarder qua reistijden doordat er één sluis minder gepasseerd moet worden. De route kent echter onzekerheden met betrekking tot de waterstanden; de Waal is een vrij stromende rivier en waterstanden kunnen sterk fluctueren.

Zo was er tijdens het laagwater in november 2018 op de Waal soms nog slechts 1,80 meter diepgang mogelijk¹⁹. Een binnenvaarttanker kan bij deze diepgang nog maar 25% van de reguliere transportcapaciteit meenemen²⁰. Het varen over de Oost-West tak van de Maasroute duurt door het extra schutten (één sluis meer) weliswaar langer (stroomopwaarts één uur langer, stroomafwaarts twee uur²¹), maar dit weegt op tegen de grotere vervoerscapaciteit. Tijdens de meest extreme laagwaterstanden geldt dat vrijwel alle schepen die onder normale omstandigheden geladen over het Maas-Waal kanaal varen via sluis Grave gaan varen. Dit zijn ook andere schepen dan die normaliter over de oost-westtak varen: grotere eenheden, waarvan er minder in één de sluiskolk passen. Ook gaat het voornamelijk om geladen schepen, deze kennen langzamere in- en uitvaartijden dan ongeladen schepen. Daardoor nemen de wachttijden bij de sluis tijdens deze periodes sterk toe. Onderstaande figuur toont de wachttijdontwikkeling bij sluis Grave in de periode 2015-2020.

Figuur 4: Gemiddelde wachttijden bij sluis Grave in de periode 2015-2020 (bron: IVS'90 en IVS-Next)



¹⁹ Bron: Minst Gepeilde Diepte Rijkswaterstaat

²⁰ Deze schepen kennen een maximale diepgang van 3,50 meter en een lege diepgang van 1,30 meter. De beladingsgraad kan bepaald worden door de beschikbare diepgang minus de lege diepgang te delen door de maximale diepgang van een schip minus de lege diepgang. Dit levert voor een schip met deze eigenschappen een beladingsgraad op van 23% ((180 cm – 130 cm) / (350 cm – 130 cm)).

²¹ Exclusief overligtijden bij Grave en Lith.



Om het effect van lange wachttijden op de logistiek te illustreren, is het goed om deze te bezien in het licht van de vaartijden. Deze kan sterk variëren afhankelijk van herkomst- en bestemming. Generiek geldt voor het verkeer op de Maas het volgende:

- Het reguliere verkeer vaart veelal vanaf de Maas richting havens in Noord-Brabant. Daarbij gaat om bijvoorbeeld het traject Venlo – Oss. De geladen afvaart duurt ongeveer 8 uur, de lege opvaart ongeveer 9 uur. Wachttijden tot anderhalf uur per keer zorgen daarmee voor een verlenging van de vaartijd met 15 à 20%.
- Het omvarende verkeer kent diversere patronen. We gaan hierbij uit van containervvaart tussen Rotterdam en Venlo (18 uur heen, 15 uur terug als via Grave gevaren wordt). Hierbij geldt dat wachttijden de vaartijd kunnen verlengen tot wel 10%. Bovendien geldt dat deze schepen veelal een strak tijdsschema kennen – met vaste afhandelmomenten bij terminals in Rotterdam.

Er is geen informatie beschikbaar over de exacte economische schade als gevolg van de wachttijden bij sluizen ten tijde van laagwater. Ecorys (2019) heeft de schade als gevolg van droogte voor de binnenvaart voor 2018 becijfert op € 65 tot 220 miljoen²². Daarbij dient aangetekend te worden dat het merendeel van deze schade toegerekend kan worden aan Oost- en Zuid-Nederland, doordat dit gedeelte van Nederland qua bereikbaarheid afhankelijk is van de waterstanden op de rivieren.

2.4 Stremmingen

Sluizen hebben onderhoud nodig en soms gaat er wat stuk. Bij sluis Grave betekent dat nu een totale uitval van het complex. Als er twee kolken zijn, kan er doorgeschut worden en nemen de wachttijden af. Op basis van een historische dataset (2013-heden) hebben we de gemiddelde stremmingsduur van sluis Grave per jaar berekend:

Tabel 1: Overzicht stremmingen en stremmingsduur (bron: Panteia o.b.v. Berichten aan de Scheepvaart 2013-2018)

Jaar	Aantal stremmingen	Totale stremmingsduur
2013	13	2,2 dagen
2014	7	2,1 dagen
2015	7	1,4 dagen
2016 ²³	13	0,9 dagen
2017 ²⁴	16	1,6 dagen
2018	23	5,2 dagen
2019	24	3,8 dagen
2020	57	9,4 dagen

Uit bovenstaande lijst blijkt dat er met name in de laatste jaren veel storingen hebben plaatsgevonden aan sluis Grave. Daarbij treden langdurige stremmingen op. Gedurende deze tijd kunnen schepen niet passeren via sluis Grave. Er dient gewacht te worden tot het moment dat de storing of stremming verholpen is of er dient te worden omgevaan via sluis Weurt.

Het jaar 2020 schiet er negatief uit in termen van storingen en stremmingsduur. Dat is het gevolg van veel gepland onderhoud. Dit in tegenstelling tot andere jaren waarbij geldt dat vrijwel alle stremmingen waren toe te rekenen aan storingen.

²² Zie hiervoor de volgende rapportage:

<https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/publicaties/2019/04/03/achtergronddocumente-n-beleidstafel-droogte/Economische+schade+door+droogte+in+2018.pdf>

²³ Exclusief berichten die betrekking hebben op het stuwincident

²⁴ Exclusief het stuwincident en de hoogwatergolf



3 Rivierkundige analyse

3.1 Doelstelling

De doelstelling bij dit deel van het onderzoek is om de toekomstige waterstandssituatie in kaart te brengen. Dat is geoperationaliseerd als het aantal dagen per jaar van laag water op de Waal (zijnde het moment dat de maximale afluaddiepte op de Waal minder wordt dan die van de Maas en een uitwijk naar de Maas economisch interessant begint te worden) voor nu als voor de klimaatscenario's in 2050 en 2120.

We hanteren als uitgangspunt de volgende scenario's, zoals reeds is toegepast in het onderzoek van Witteveen en Bos 2021:

- Conservatief: klimaatscenario Whdry en een ongewijzigd rivierbodembeleid waardoor de trend in bodemerrosie doorzet tot 2120;
- Ambitieuw: klimaatscenario GL en een ambitieus rivierbodembeleid dat uitgaat van terugbrengen van de rivierbodem naar het niveau uit 2010;
- Plausibel: klimaatscenario Whdry en een eroderende trend tot 2050 waarna de bodem in stand gehouden wordt tot 2120.

Op basis van onderzoek, analyses en interviews met experts van Rijkswaterstaat Oost-Nederland is besloten deze uitgangspunten bij te stellen. Bij sluis Weurt, het onderwerp van onderzoek bij de studie van Witteveen+Bos (2021), is vooral de toekomstige diepte van de sluisdrempel relevant. In dit onderzoek gaat het, zoals bedoeld in paragraaf 2.2, om de gehele netwerkfunctie en vaardiepten daar gerealiseerd kan worden. Bodemerrosie in combinatie met harde lagen leidt tot dusdanig lage afluaddiepten in de toekomst – ruim onder de meter – dat de algemene bevaarbaarheid van de Waal in het geding komt. Daardoor zal de overheid besluiten om eventuele harde lagen weg te nemen. Deze constatering maakt dat het conservatieve en plausibele scenario hetzelfde uitwerken voor deze studie. Een nadere toelichting op de ontwikkelingen met de bodem zijn toegevoegd in Bijlage 1.

Bodemerrosie zorgt naast problemen met sluisdrempels en vaste lagen ook voor een andere afvoerverdeling van de Waal en het Pannerdensch Kanaal. Doordat de bodem van de Waal zich sneller inslijt dan de bodem van het Pannerdensch Kanaal en IJssel, zal bij gelijkblijvende afvoer bij Lobith in de toekomst meer water afgevoerd worden via de Waal en minder via de IJssel. Dit leidt op delen van de Waal tot een verbetering van de afluaddiepte – de daling in waterhoogte houdt hierdoor niet overal een gelijke tred met de bodemdaling. Voor het traject tussen Rotterdam en Nijmegen (60%) levert dit geen verbeterde nautische omstandigheden op, omdat er aanzanding plaatsvindt op het traject Zaltbommel – Sint Andries. Voor het verkeer (40%) dat via de Waal tussen het Amsterdam – Rijnkanaal en het Maas-Waalkanaal vaart, becijfert Rijkswaterstaat in 2050 bij gelijkblijvende (lage) afvoeren een afluaddiepteverbetering van 15 cm.

Hoewel er voor verschillende stromen dus verschillende effecten zijn naar de toekomst, is tijdens deze studie het uitgangspunt gehanteerd dat de effecten van bodemerrosie op de routekeuze van schepen te verwaarlozen zijn. Daarbij gebruiken we niet alleen bovenstaande argumentatie voor 60% van het omvarende verkeer vanaf de Waal in relatie tot Rotterdam, maar ook voor het deel van 40% in relatie tot Amsterdam en IJmuiden. Hiermee overschatten we het omvarende verkeer bij Grave beperkt, maar dit heeft slechts een zeer marginale invloed op het resultaat van de MKBA.



Zodoende is besloten om de volgende scenario's te hanteren voor toekomstige waterstanden op de Waal:

- Een scenario 'bodemerosie' waarbij klimaatscenario WHdry gehanteerd wordt en de bodemerosie doorzet tot 2120, maar waarbij wel eventuele extra harde lagen in de Waal weggebaggerd worden. Dit betekent in de praktijk dat enkel de ontwikkelingen van de afvoer leidend zijn.
- Een scenario 'bodemherstel' waarbij klimaatscenario GL gehanteerd wordt. Ook wordt een ambitieus rivierbodembeleid toegepast op de Waal dat uitgaat van terugbrengen van de rivierbodem naar het niveau uit 2010. Hierdoor verdwijnen bestaande beperkingen ten aanzien van harde lagen. Dit resulteert in 30 centimeter meer aflaaddiepte.

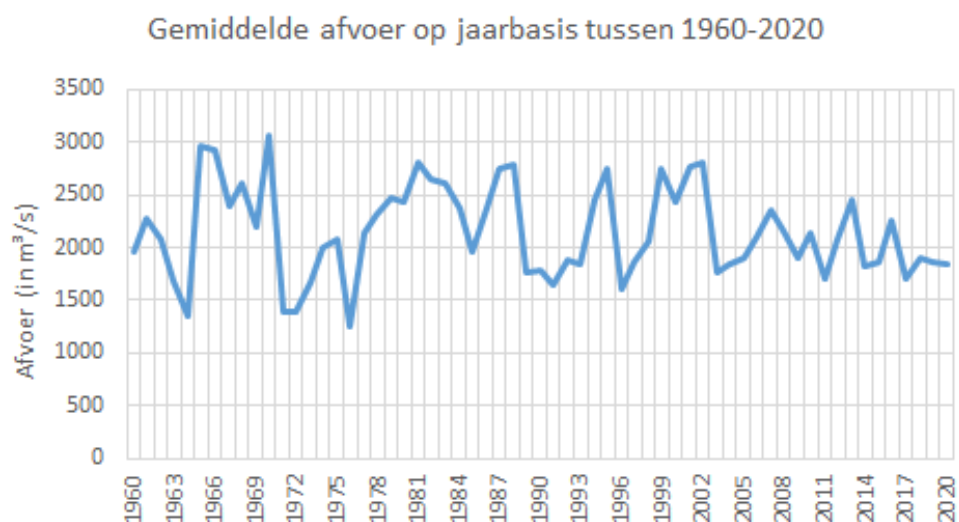
Deze scenario's zijn afgestemd en akkoord bevonden door Rijkswaterstaat Oost-Nederland.

3.2 Ontwikkeling van de afvoeren

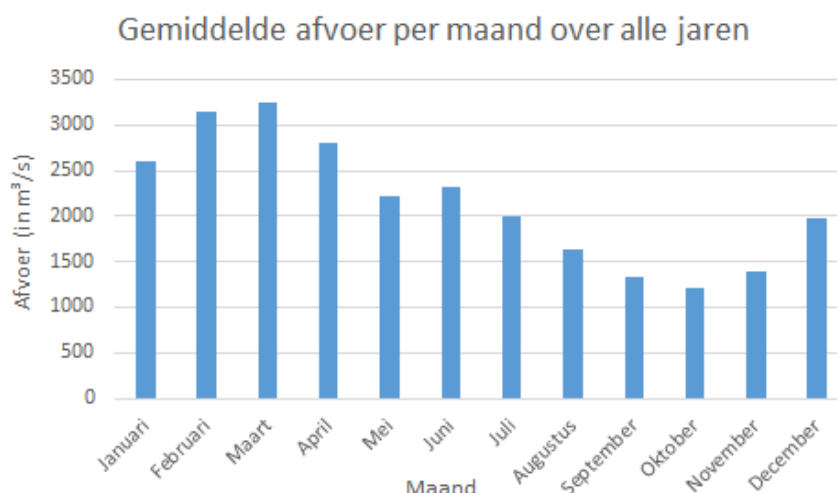
3.2.1 Historisch

Deze paragraaf beschrijft de ontwikkeling van de waterafvoer bij Lobith, voor de jaren 1960-2020. Onderstaande figuren laten de gemiddelde afvoer zien, enerzijds op jaarbasis, en anderzijds op maandbasis. Over de gehele periode genomen is de afvoer gemiddeld het hoogst in de eerste maanden van het jaar, en het laagst in de herfstmaanden. In de meeste jaren is dit exacte patroon ook zichtbaar, al zijn de verschillen tussen de lente- en herfstmaanden in sommige jaren groter dan andere. Voornaamste uitzonderingen op dit patroon zijn onder andere 1960, waar de afvoer in de laatste maanden gemiddeld hoger lag dan in de eerste maanden van het jaar, en 1963, waar februari de maand was met de laagste gemiddelde afvoer. 1963 staat erom bekend dat er een horrorwinter was, dus waarschijnlijk was de Rijn toen (gedeeltelijk) dichtgevroren, wat leidde tot lagere afvoeren.

Figuur 5: Gemiddelde afvoer op de Boven-Rijn bij Lobith in de periode 1960-2020 (bron: waterinfo.rws.nl)



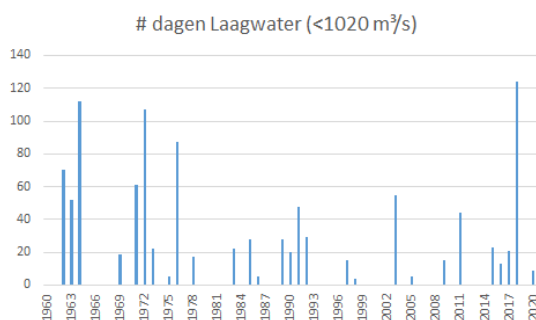
Figuur 6: Gemiddelde maandafvoer op de Boven-Rijn bij Lobith in de periode 1960-2020 (bron: waterinfo.rws.nl)



Naast de ontwikkeling van de waterafvoer per maand en jaar, kijken we ook hoe de waterafvoer per dag fluctueert. Zo kunnen we bijvoorbeeld bepalen op hoeveel dagen er sprake was van maatgevend laagwater. Hier spreken we van als de afvoer over de hele dag genomen onder de 1020 m³/s uitkomt. Onderstaande grafiek toont de resultaten van deze analyse. Hieruit blijkt dat in 33 van de 61 bekeken jaren er minder dan één dag sprake was van maatgevend laagwater. In de overige jaren was dat wel het geval.

Onderstaande tabel toont de 5 jaren met het grootste aantal dagen laagwater 2018, 1964 en 1972 waren duidelijk uitschieters, met meer dan 100 dagen laagwater. Verder, alleen in 2018 en 1963 waren er dagen waar de gemiddelde afvoer onder de 750 m³/s uitkwam. Wat verder opvalt, is dat de gemiddelde afvoer over heel 2018 genomen niet extreem laag is, vooral omdat in januari de gemiddelde afvoer boven de 5000 m³/s lag.

Figuur 7: Aantal dagen waarbij de afvoer bij Lobith onder de Overeengekomen Lage Rivierafvoer (1.020 m³/s) gekomen is (bron: waterinfo.rws.nl)



Tabel 2: Top 5 jaren met lage afvoer (bron: waterinfo.rws.nl)

Rank	Jaar	# dagen laagwater (gem. afvoer <1020 m³/s)
1	2018	124
2	1964	112
3	1972	107
4	1976	87
5	1962	70

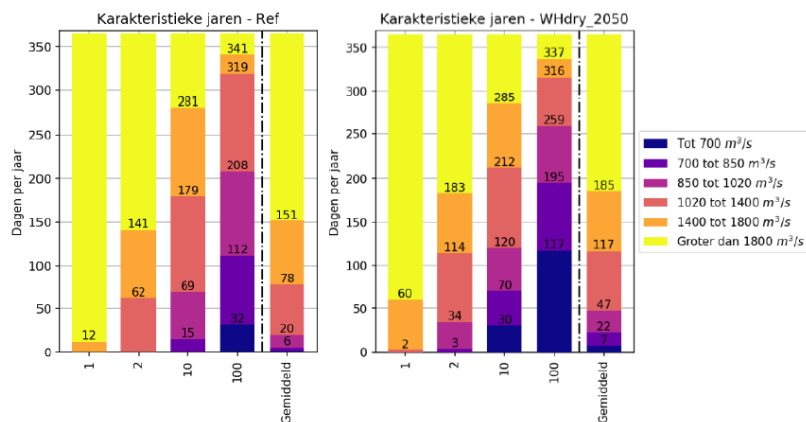
3.2.2 Verwachtingen voor de toekomst

Deltares heeft geanalyseerd hoe karakteristieke droge jaren zijn geschematiseerd uit de 5 afvoerniveaus (De Jong, 2019). Als voorbeeld is in figuur 5.2 de opbouw van het huidige klimaat opgenomen. Op de horizontale as staat de terugkeertijd van (o.a.) een droog jaar dat eens in de 10 jaar optreedt (T10) en extreem droog jaar dat eens in de honderd jaar optreedt (T100). Het jaar 2018 was een zeer droog jaar met in het huidige klimaat een terugkeertijd van ongeveer 60 jaar. In de toekomst neemt het aantal dagen met lage afvoer toe. Het scenario voor snelle klimaatverandering is in figuur 5.2 rechts



opgenomen. In dit klimaat heeft de droge situatie uit 2018 qua totale duur nog een terugkeertijd van 10 jaar²⁵.

Figuur 8: Waterafvoeren naar terugkeertijd, nu en in de toekomst (bron: Deltares, 2019)



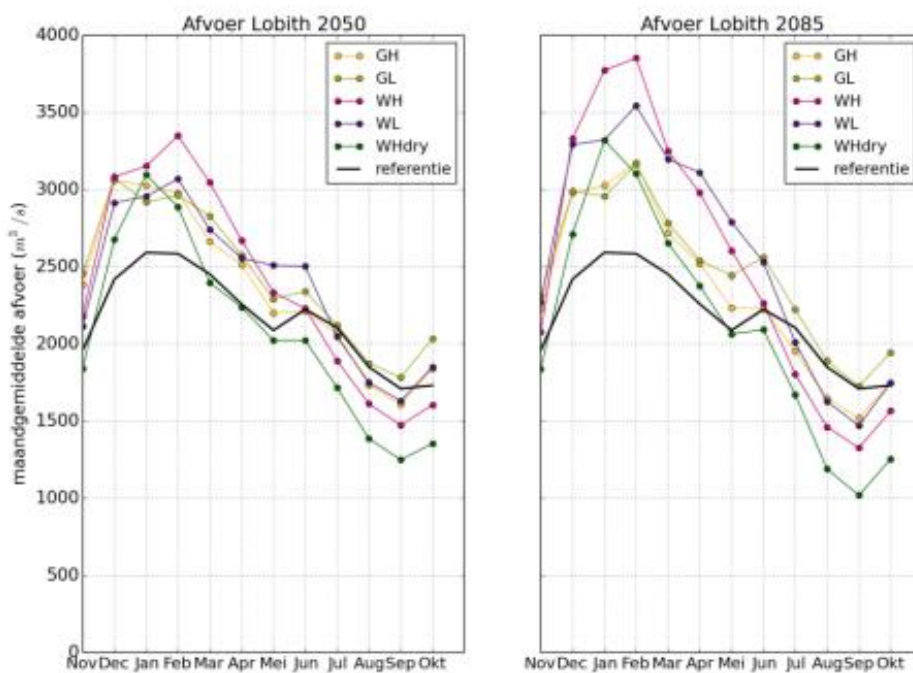
3.3 Werkwijze

3.3.1 Berekenen van de afvoer

Dit onderzoek gaat uit van de vervanging van de Oostkolk door een nieuwe verdiepte sluis kolk waardoor de functie uitval in de toekomst zal worden beperkt.

Als uitgangspunt hebben we data over de waterafvoer bij Lobith genomen. Deze is dagelijks gemeten tussen de jaren 1960 en 2020²⁶. Deze zijn in paragraaf 2 nader bekeken en geanalyseerd. Ook hebben we de voorspelde waterafvoer per maand in 2050 en 2085 genomen, voor de scenario's WHdry, GL en Ref. Zie onderstaande grafieken:

Figuur 9: Verwachte afvoeren per klimaatscenario in 2050 en 2085 (bron: KNMI & Deltares, 2014)



²⁵ Dit beeld wordt bevestigd door het meest recente klimaatsignaal van het KNMI: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-klimaatsignaal-21>

²⁶ Deze zijn verkregen via de downloadoptie van <https://waterinfo.rws.nl/#!/nav/publiek/>



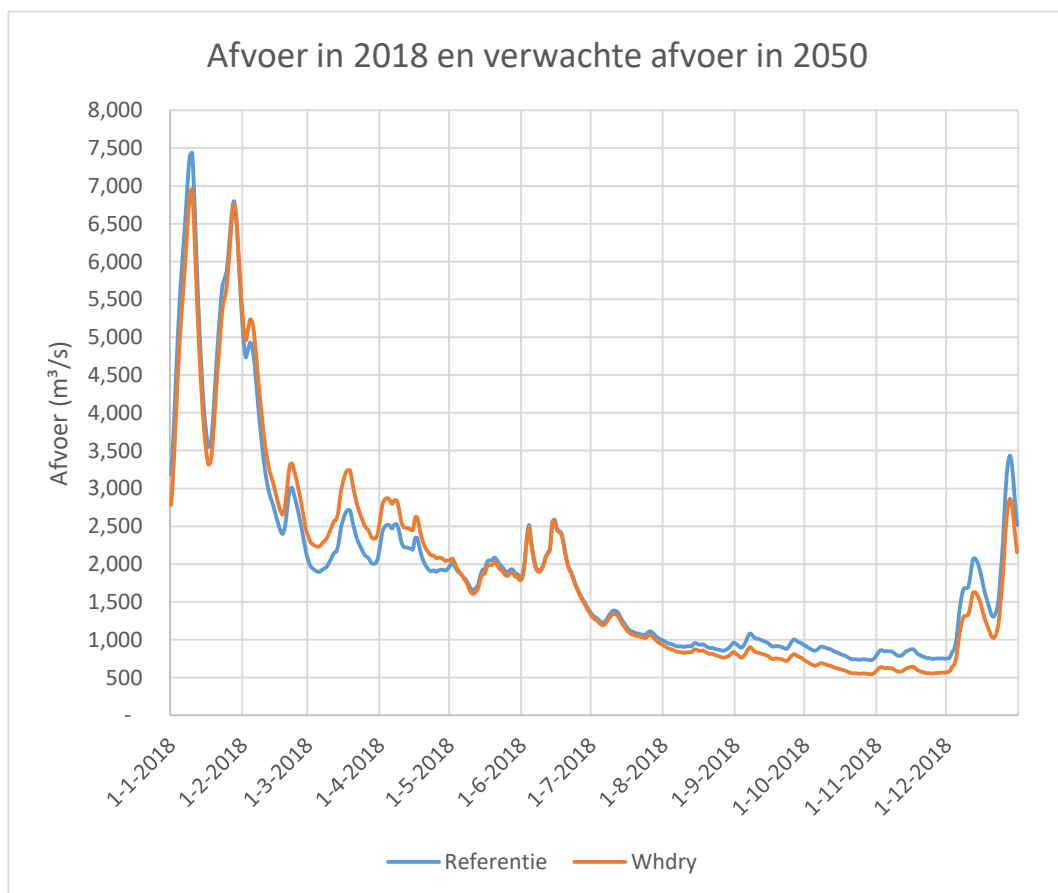
In de grafiek zijn afvoerlijnen te zien voor de referentiesituatie (1951-2006). Per maand hebben we vervolgens op basis van bovenstaande grafieken de **correctiefactoren** berekend. Zie onderstaande box voor een voorbeeld:

Voorbeeld

Op een gegeven dag in de maand januari bedraagt de afvoer 2500 m³. In de referentiesituatie lezen we een afvoer van 2600 m³/s af. In het WHdry scenario voor 2050 verwachten we in januari een afvoer van 3200 m³/s. De correctiefactor is dan gelijk aan $3200 / 2600 = 1,23$. In het toekomstjaar is de afvoer dan $1,23 * 2500 = 3075$ m³/s.

Deze factoren hebben we toegepast op de historische waterafvoeren tussen 1960 en 2020. Het resultaat is de verwachte waterafvoer op een bepaalde dag in periode 1960-2020, maar dan gecorrigeerd volgens het WHdry- of GL-scenario voor 2050 of 2085. Omdat we enerzijds met afvoeren per dag werken, en anderzijds met factoren per maand, kan de overgang tussen het eind van de ene maand en het begin van de volgende maand nogal groot zijn. Daarom hebben we de berekende factoren wat bijgeschaafd om tot een vloeiende overgang tussen maanden te komen. Bijlage 2 bevat de correctiefactoren per dag voor zowel het WHdry als het GL-scenario. Onderstaande figuur toont een gecorrigeerd jaar (2018) ter illustratie van de verschillen wanneer gecorrigeerd is. Zichtbaar is dat het WHdry-scenario leidt tot hogere afvoeren in het voorjaar (februari-mei) en lagere afvoeren in het najaar (september – december). In de maanden januari, juni en juli blijft de afvoer nagenoeg gelijk.

Figuur 10: Afvoer in 2018 (referentie) en verwachte afvoer bij het WHdry-klimaatsscenario in 2050 (bron: Panteia o.b.v. KNMI & Deltares, 2014)



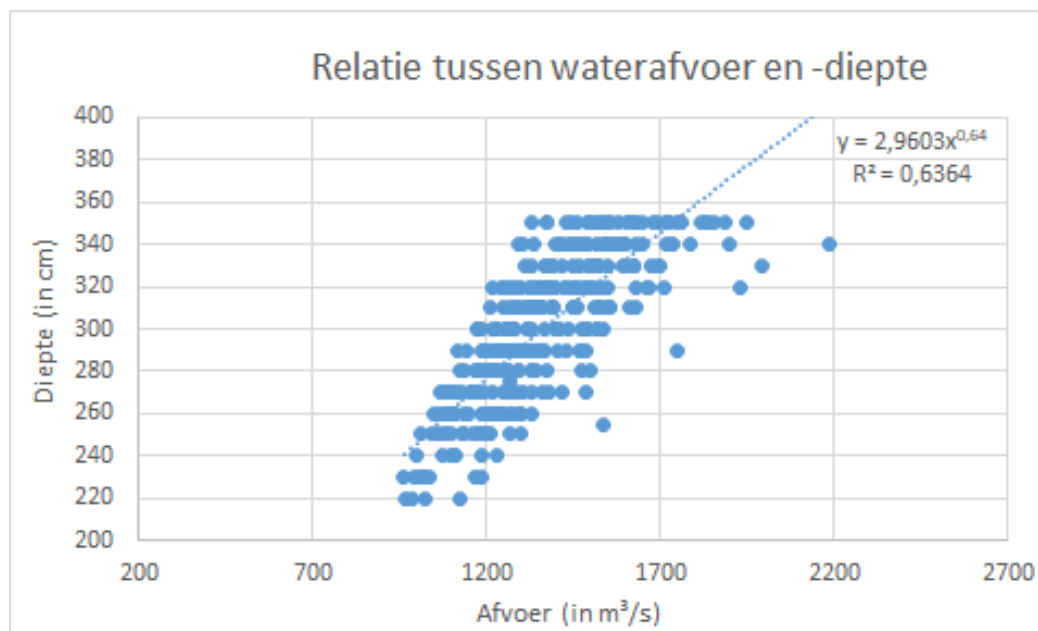
3.3.2 Berekenen van de waterdiepte

De berekende waterafvoeren dienen wel omgezet te worden naar een aflaaddiepte. Deze is bepalend voor de routekeuze (via Grave of via Weurt). Daarom hebben we tijdreeksen geanalyseerd met de aflaaddiepten, in de huidige situatie gebaseerd op de Minst Gepeilde Diepten (MGD) en de afvoer bij Lobith. De trendlijn door dit scatterplot kent de volgende formule:

$$\text{Diepte} = 2.96 \times \text{Afvoer}^{0.64}$$

Hierbij is diepte in centimeters (cm) en afvoer in kubieke meters per seconde (m³/s). Zie de scatterplot hieronder.

Figuur 11: Relatie tussen de waterafvoer bij Lobith en de aflaaddiepte (gebaseerd op de Minst Gepeilde Diepte op de Waal) (bron: waterinfo.rws.nl en Rijkswaterstaat CIV)



Onderstaande tabel vat de berekening van de maximale vaardiepte over de Waal per toekomstdag samen.

Tabel 3: Berekeningssystematiek voor de aflaaddiepte op de Waal

	Jaar	Scenario		
		Huidig	Bodemerosie	Bodemherstel
Aflaaddiepte	Alle		2.9603 * Afvoer ^0.64	
Effecten bodemontwikkeling op aflaaddiepte.	2019	0	0	0
	2050	0	0	+30
	2085	0	0	+30
	2120	0	0	+30

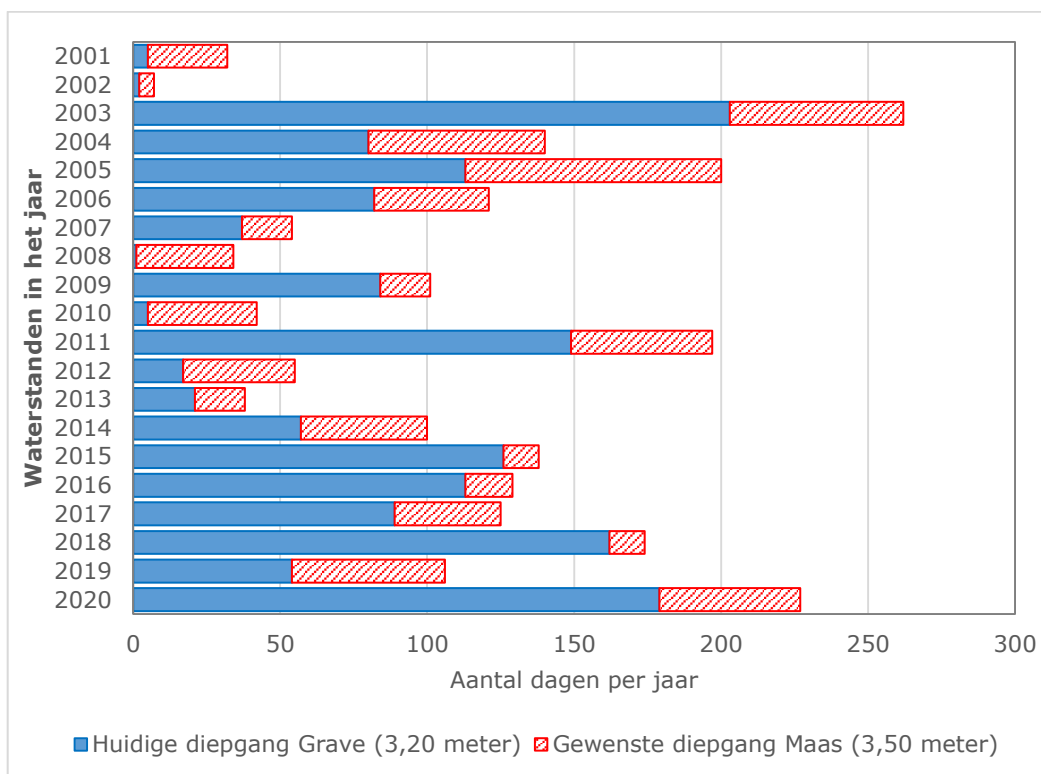
3.4 Vergelijking nautische omstandigheden Maas en Waal

3.4.1 Historische ontwikkeling

Onderstaande grafiek toont het aantal dagen in een jaar waarbij het varen via de Maas gunstiger kan zijn dan het varen via de Waal. Hierbij is aangenomen dat het gunstiger is om via de Maas te varen, wanneer de **Minst Gepeilde Diepgang** op de Waal geringer is dan 320 cm (Maasdiepgang op de oost-westtak).



Figuur 12: Aantal dagen per jaar waarbij de oost-westtak van de Maasroute gunstigere nautische condities kent dan de Waal (bron: MGD RWS)



Hierbij valt het volgende op:

- Er zijn gemiddeld heleboel dagen in het jaar waarbij geldt het gunstiger kan zijn om via de oost-westtak van de Maas (via sluis Grave), te varen op vervoersrelaties tussen West-Nederland en Limburg. In totaal gaat het om **gemiddeld 97 dagen per jaar** waarvoor geldt dat er meer diepgang beschikbaar is via sluis Grave dan via sluis Weurt en de Waal.
- Wordt de diepgangsbepierking van 3,20 meter op de oost-westtak van de Maas, als gevolg van zowel een (te) ondiepe sluisdrempel bij sluis Grave als de buisleidingstraat bij Niftrik, weggewerkt waardoor een diepgang van 3,50 meter mogelijk is, dan geldt dat er aanvullend nog **40 dagen gemiddeld per jaar** meer diepgang beschikbaar is via sluis Grave. Dat brengt het totaal op 137 dagen.
- Er zijn echter grote extremen waarneembaar. In jaren met veel langdurig lage waterstanden, zoals in de afgelopen twee decennia 2003 (203-262 dagen), 2011 (149-197 dagen), 2018 (162-174 dagen) en 2020 (179-227 dagen) is het merendeel van het jaar meer diepgang beschikbaar via sluis Grave.
- Daar tegenover staan jaren met relatief gunstige waterstanden op de Waal, zoals 2001 (5-32 dagen), 2002 (2-7 dagen), 2008 (1-34 dagen), 2010 (5-42 dagen), 2012 (17-55 dagen) en 2013 (21-38 dagen). In deze jaren was het maar zeer beperkt gunstiger voor schepen om via sluis Grave te varen.

Niet al het verkeer in relatie tot Limburg besluit over sluis Grave te varen zodra er op de Waal een Minst Gepeilde Diepte²⁷ van 320 centimeter of minder wordt afgegeven. Of een schipper besluit om te varen, is namelijk afhankelijk van een aantal factoren;

- De maximale diepgang van het schip.

²⁷ De Minst Gepeilde Diepte is maatgevend voor de aflaaddiepte op de Waal in de huidige situatie.



Veel kleinere schepen beschikken over een geringere diepgang dan 3,20 meter. Voor CEMT-klasse II geldt bijvoorbeeld een gemiddelde maximale diepgang van 2,60 meter, voor CEMT IV is de maximale diepgang doorgaans beperkt tot 2,80 meter.

- De maximale diepte van de vaarwegen die elders nog bevaren moeten worden.
De Maas is een rivier die voldoende diepte heeft. Maar over de Maas worden veel goederen vervoerd voor bestemmingen langs waterwegen die aanmerkelijk minder diep zijn. Denk aan het bouwmaterialenvervoer tussen Limburg (veel zand- en grindwinningsplassen langs de Maas) en de Randstad (veel vraag naar deze producten bij betoncentrales) of het suikerbietenvervoer vanuit Zuid-Limburg naar de suikerfabriek in Stampersgat. Deze locaties zijn gelegen langs de kleinere kanalen in de Randstad (Gouwe, Oude Rijn, Rijn-Schiekanaal, Ringvaart v/d Haarlemmermeerpolder) of in Noord-Brabant (Mark & Dintel maar ook Wilhelminakanaal en Zuid-Willemsvaart). De diepgang op deze vaarwegen is beperkt van 2,50 meter tot 2,80 meter. Schepen die op deze trajecten varen, kunnen dus niet te diep laden.
- Het soortelijk gewicht van de lading die vervoerd moet worden;
Veel schepen varen met lading die niet zo zwaar is. Het ruim is weliswaar volledig gevuld qua inhoud, maar qua gewicht wordt het schip niet volledig benut. Daardoor blijft de inzinking beperkt. Dit doet zich voor bij bijvoorbeeld veevoederproducten (soja, gerst, tarwe) en producten die voor menselijke consumptie bestemd zijn (mout, etc.). Ook in de containervaart worden doorgaans lichte producten vervoerd.

3.4.2 *Zicht op het omvarend verkeer*

Daarna hebben we uit het binnenvaart reizenbestand voor 2019 alle reizen gehaald die zowel de sluis bij Weurt passeren, als het vaarwegvak tussen Tiel en Nijmegen bevaren. Enkel voor deze schepen is omvaren over sluis Grave relevant. Er is gekozen voor het jaar 2019 omdat dit jaar geen significante beperkingen kende ten aanzien van hoog- en laagwaterstanden.

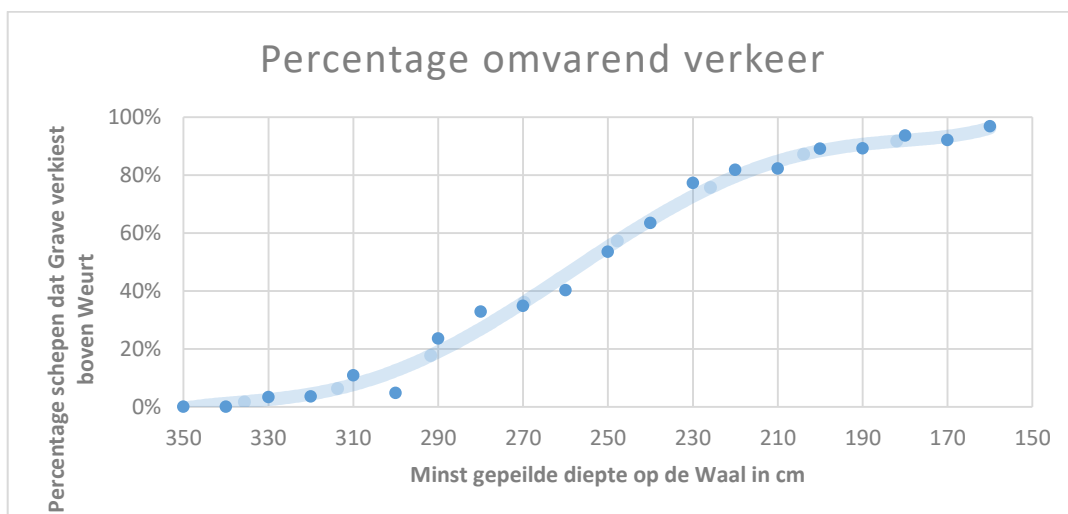
Voor al deze reizen wordt voor het gekozen toekomstjaar en scenario bekeken of deze reis op de aangegeven dag in dat jaar kan plaatsvinden via Weurt, door de *berekende* vaardiepte op de Waal te vergelijken met de diepgang van het schip in 2019. Als deze niet plaatsvinden, wordt aangenomen dat het schip omvaart via Grave. Heeft het schip een diepgang van meer dan 3,20 meter, dan wordt voor dit schip een aflaaddieptebeperking (max. 3,20 meter) aangenomen en het aantal reizen opgehoogd.

De resultaten zijn geaggregeerd op weekniveau, waardoor er per week een percentage is berekend dat kan omvaren via de sluis van Grave.

Des te geringer de aflaaddiepte die op de Waal mogelijk is, des te groter het percentage schepen dat zal gaan omvaren. Dat blijkt ook uit onderstaande grafiek; hieruit blijkt dat bij een MGD van de Waal die geringer is dan 200 centimeter, reeds 90% van de beladen scheepvaart de alternatieve route over Grave zal kiezen. Bij een MGD van 250 centimeter is dat ongeveer 50%, bij een MGD van 280 cm ongeveer 33% en bij een MGD van 300 centimeter ongeveer 10%. Enkel grote schepen die tussen de zeehavens en binnenhavens aan de Maas pendelen met zware bulkgoederen zullen bij een MGD van 300 cm op de Waal besluiten de extra diepgang via Grave te benutten.



Figuur 13: Percentage schepen bij sluis Weurt dat besluit om te varen bij een bepaalde waterstand (bron: MGD RWS, Basisreizenbestand en referentiepassages 2019 RWS)



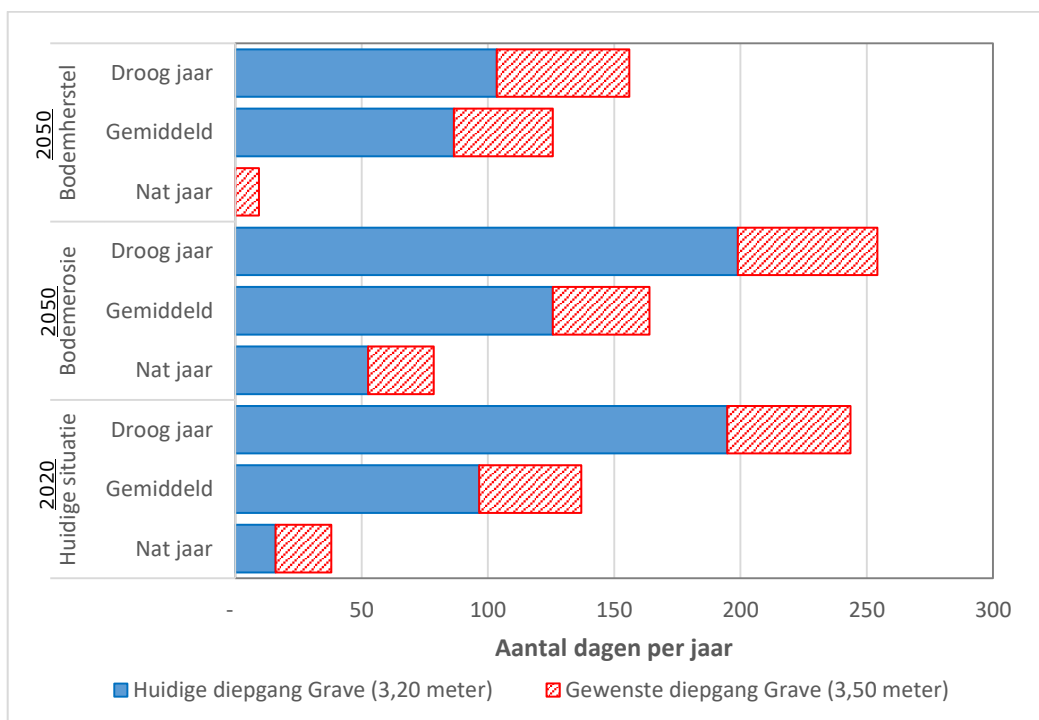
3.4.3 Zichtjaar 2050

Onderstaande figuur toont per scenario het gemiddeld aantal dagen per jaar in 2050 waarbij de nautische omstandigheden op de oost-westtak van de Maas, via sluis Grave, gunstiger zijn dan de route via de Waal en het Maas-Waalkanaal.

Definitie

Een droog jaar is hierbij gedefinieerd als een jaar met terugkeertijd van **eens op de tien** jaar. Een nat jaar is gedefinieerd als een jaar waarvoor geldt dat **eens op de tien** jaar de omstandigheden nog gunstiger zijn.

Figuur 14: Verwachte hoeveelheid dagen per jaar waarbij de oost-westtak van de Maas nautisch gunstigere condities kent dan de Waal, in 2050 voor twee scenario's (bron: Panteia o.b.v. Basisreizenstand 2019 en Klimaatscenario's KNMI&Deltares 2014)



Uit de figuur blijkt het volgende:

- Ten opzichte van de huidige situatie, neemt in het scenario met bodemerosie het aantal dagen per jaar waarbij geldt dat de nautische omstandigheden via de oost-westtak van de Maas gunstiger zijn dan via de Waal en het Maas-Waalkanaal toe. Het ontwikkelt van gemiddeld 97 dagen per jaar (à 3,20 meter diepgang) naar 126 dagen per jaar.
- In de extreme jaren (terugkeertijd van 10 jaar –droger of natter), geldt dat:
 - de natte jaren relatief meer dagen gaan kennen dan nu waarvoor geldt dat varen over Grave gunstiger is dan via de Weurt. In de huidige situatie gaat het om 16 dagen per jaar in een 'nat jaar' en dat worden er 53 in het bodemerosiescenario. In het bodemherstelscenario, waarbij de rivierbodem hersteld wordt naar het niveau van 2010, is er juist 30 centimeter extra water. In dit scenario zal een 'nat jaar' zich zodanig uitwerken, dat omvaren over Grave vanwege hydrologische omstandigheden **niet gunstig** is als de huidige diepgangsbepierking (3,20 meter) gehandhaafd blijft. Wordt de diepgangsbepierking weggenomen, dan is omvaren gedurende 9 dagen per jaar gunstig.
 - Het aantal dagen in 'droge jaren' (bodemerosie scenario) waarbij omvaren gunstig is neemt ten opzichte van de huidige situatie marginaal toe van gemiddeld 195 dagen in een droog jaar, naar 199 dagen in een droog jaar. In bodemherstelscenario daalt het naar 104 dagen.

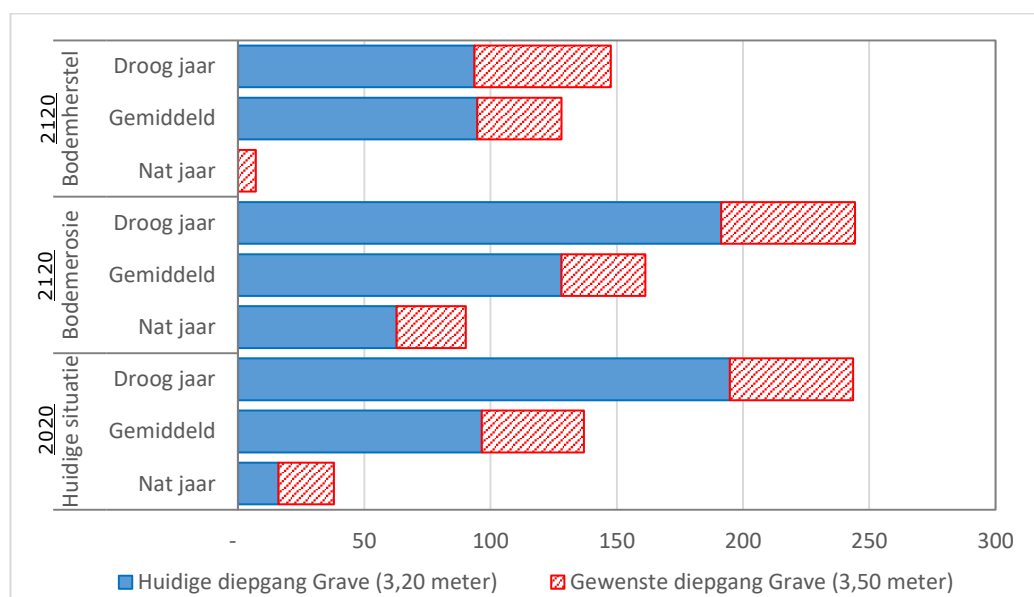
3.4.4 Zichtjaar 2120

Onderstaande figuur toont per scenario het gemiddeld aantal dagen per jaar in 2120 waarbij de nautische omstandigheden op de oost-westtak van de Maas, via sluis Grave, gunstiger zijn dan de route via de Waal en het Maas-Waalkanaal.

Definitie

Een droog jaar is hierbij gedefinieerd als een jaar met terugkeertijd van **eens op de tien** jaar. Een nat jaar is gedefinieerd als een jaar waarvoor geldt dat **eens op de tien jaar** de omstandigheden nog gunstiger zijn.

Figuur 15: Verwachte hoeveelheid dagen per jaar waarbij de oost-westtak van de Maas nautisch gunstigere condities kent dan de Waal, in 2120 voor twee scenario's (bron: Panteia o.b.v. Basisreizenstand 2019 en Klimaatscenario's KNMI&Deltares 2014)



Uit de figuur blijkt het volgende:

- Ten opzichte van de huidige situatie, neemt in bodemerosiescenario het aantal dagen per jaar toe waarbij geldt dat er diepgang beschikbaar is via de oost-westtak van de Maas dan via de Waal en het Maas-Waalkanaal. Het ontwikkelt van gemiddeld 97 dagen per jaar (à 3,20 meter diepgang) naar 128 dagen per jaar.
- In de extreme jaren (terugkeertijd van tien jaar –droger of natter), geldt dat:
 - de natte jaren relatief meer dagen gaan kennen dan nu waarvoor geldt dat varen over Grave gunstiger kan zijn dan via de Weurt. In de huidige situatie gaat het om 16 dagen per jaar in een 'nat jaar' en dat worden er 53 in het bodemerosiescenario. In het bodemherstelscenario, waarbij de rivierbodem hersteld wordt naar het niveau van 2010, is er juist 30 centimeter extra water. In dit scenario zal een 'nat jaar' zich zodanig uitwerken, dat omvaren over Grave vanwege hydrologische omstandigheden **niet gunstig** is als de huidige diepgangsbepierking (3,20 meter) gehandhaafd blijft. Wordt de diepgangsbepierking weggenomen, dan is omvaren gedurende 7 dagen per jaar gunstig.
 - Het aantal dagen in 'droge jaren' (bodemerosie scenario) waarbij omvaren gunstig is neemt ten opzichte van de huidige situatie marginaal af van gemiddeld 195 dagen in een droog jaar, naar 191 dagen in een droog jaar. In het bodemherstelscenario daalt het naar 94 dagen. De oorzaak voor daling is de grotere hoogwaterpiek in het voorjaar.

3.5 Aantal dagen per jaar met maatgevende diepgang

Uit voorgaande analyse blijkt dat het aantal dagen waarvoor geldt dat de diepgang via de oost-westtak van de Maasroute gunstiger is dan de route via de Waal en het Maas-Waalkanaal, naar de toekomst toe in het bodemerosiescenario toeneemt en in het bodemherstelscenario afneemt. Echter, eveneens wordt duidelijk dat dit aantal dagen uiteindelijk nog niet alles zegt over de ontwikkeling van het verkeer bij sluis Grave. Daartoe is het ook noodzakelijk om inzicht te verkrijgen in de afluaddiepte die mogelijk is via de Waal. Het kan immers best zo zijn dat de afluaddiepte via de Maas gunstiger is (320 cm) dan via de Waal (stel: 280 cm), maar als een schip als gevolg van het ingeladen goed of de bestemming (langs kleiner vaarwater) slechts 250 cm diep ligt, zal het nog altijd kiezen voor de route over de Waal. Dat blijkt ook uit paragraaf 3.2.

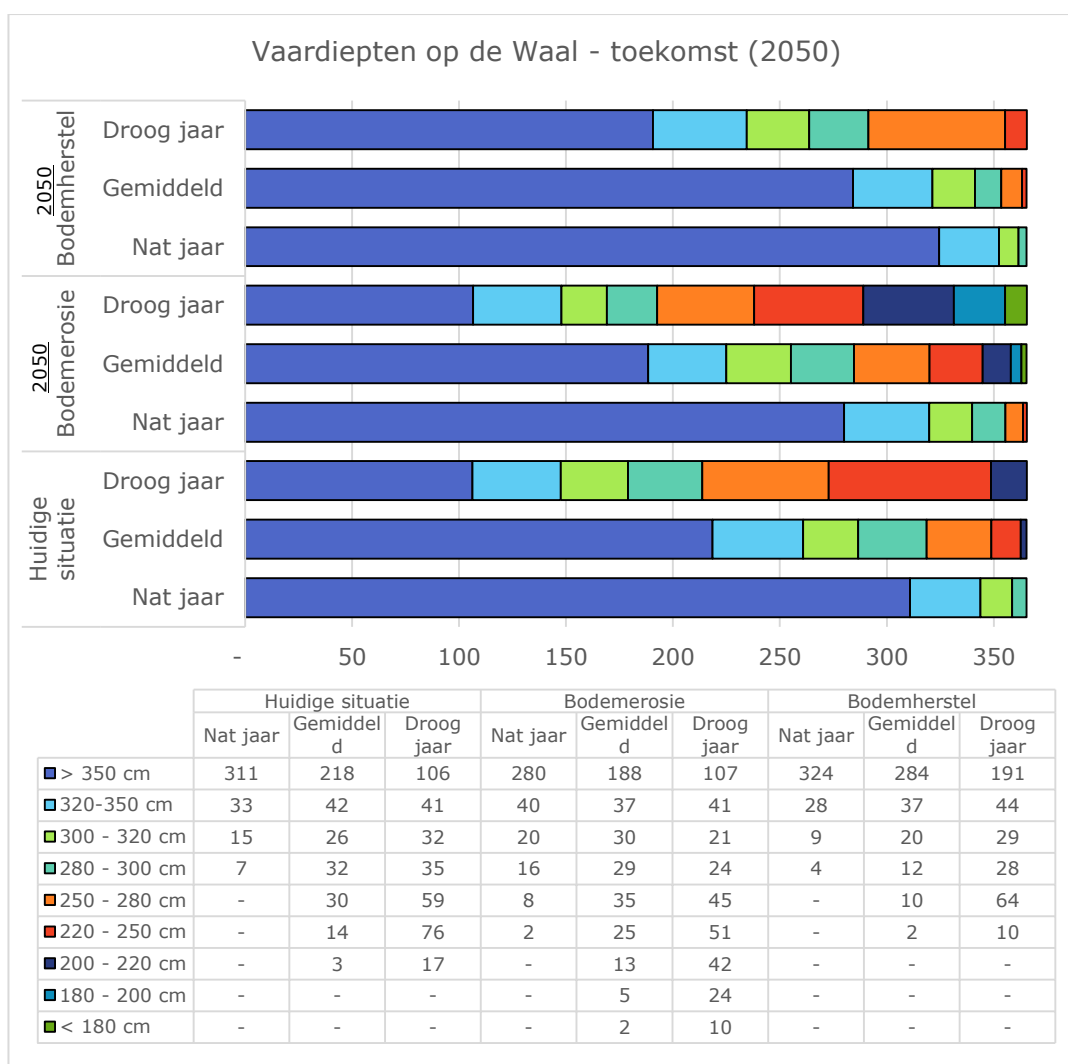
Panteia heeft berekend wat in de toekomstige scenario's de afluaddiepten gaan zijn op de Waal. Op basis hiervan is het mogelijk om een inschatting te maken van het aantal dagen per jaar dat een bepaalde diepgang wel of niet gehaald kan worden. Dit zegt vervolgens ook iets over het percentage verkeer dat zal uitwijken van sluis Weurt naar sluis Grave. Dit is weergegeven in onderstaande figuur.

Definitie

Een droog jaar is hierbij gedefinieerd als een jaar met terugkeertijd van **eens op de tien** jaar. Een nat jaar is gedefinieerd als een jaar waarvoor geldt dat **eens op de tien jaar** de omstandigheden nog gunstiger zijn.



Figuur 16: Verwachte verdeling van aflaaddiepten op de Waal in 2050 op basis van twee scenario's



Uit de figuur blijkt het volgende:

- In de huidige situatie zijn er gemiddeld 228 dagen per jaar waarbij er geen diepgangbeperkingen op de Waal gelden. Schepen kunnen daarbij maximaal afladen. In een 'relatief droog' jaar gaat het om 106 dagen, in een nat jaar zelfs om 311 dagen.
 - In het bodemerosiescenario neemt het aantal dagen af naar 201 dagen per jaar waarbij er een diepgang is van meer dan 350 cm op de Waal. In het bodemherstelscenario neemt het aantal dagen waarbij er geen nautische beperkingen zijn op de Waal toe naar 292 dagen per jaar.
 - In een relatief droog zal in het bodemerosiescenario circa 107 dagen per jaar sprake zijn van waterdiepten groter dan 350 cm, 1 dag meer dan in de huidige situatie. Dat hangt vooral samen met toegenomen afvoeren in het voorjaar. In het bodemherstelscenario zal een droog jaar gemiddeld 191 dagen per jaar kennen waarbij de diepte op de Waal groter is dan 350 cm.
 - In een relatief nat jaar zal er in het bodemerosiescenario sprake zijn van gemiddeld 280 dagen per jaar waarbij de diepte groter is dan 350 cm. In het bodemherstelscenario gaat het om 324 dagen per jaar.
- Bij een aflaaddieptebeperking op de Waal tot 300 cm zal ongeveer 10% van het verkeer omvaren. In de huidige situatie is er sprake van gemiddeld 27 [15- 32]



dagen per jaar waarvoor dit geldt, in het bodemerosiescenario gaat dit naar 26 [20-21] dagen en in het bodemherstelscenario naar 16 [9-29] dagen.

- Bij een aflaaddieptebeperking op de Waal tot 280 cm zal ongeveer 1 op de 3 schepen besluiten om aan te gaan varen. In de huidige situatie zijn er gemiddeld 26 [7-35] dagen per jaar waarvoor deze omstandigheid geldt. In het bodemerosiescenario zijn er 25 dagen [16-24], in het bodemherstelscenario 12 [4-28] dagen waarvoor dit geldt.
- Bij een aflaaddieptebeperking tot 250 cm zal ongeveer de helft van de schepen omvaren. In de huidige situatie gaat het om gemiddeld 26 [0-59] dagen per jaar waarvoor dit geldt, in het bodemerosiescenario (2050) zal dit toenemen tot 34 [8-45] dagen per jaar en in het bodemherstelscenario afnemen naar 11 dagen [0-64].
- Bij een aflaaddieptebeperking op de Waal tot 220 cm vaart 80% van de schepen om. In de huidige situatie komen deze waterstanden gemiddeld 15 dagen [0-17] in het jaar voor, in het bodemerosiescenario worden deze aflaaddiepten gedurende 25 dagen per jaar verwacht [2-51]. In het bodemherstelscenario wordt een dergelijke aflaaddiepte maar 1 dag per jaar verwacht [0-10].
- Aflaaddiepten geringer dan 220 centimeter komen zelden voor, zelfs in de huidige situatie. Bij deze situaties vaart 90% van de geladen schepen om. In de huidige situatie zijn er gemiddeld 3 dagen per jaar waarbij deze situatie optreedt [0-17]. In het bodemerosiescenario worden in 2050 19 dagen in een jaar verwacht met deze aflaaddiepten [0-76], waarbij geldt dat er 12 [0-42] dagen zijn met een aflaaddieptebeperking tussen 200 of 210 cm, 6 [0-24] dagen met een beperking op 180-190 cm en 1 dag [0-10] met een beperking op geringer dan 180 cm. In het bodemherstelscenario worden dergelijke waterdiepten niet verwacht, zelfs in de meest droge jaren.



4 Vervoerkundige analyse

Doelstelling

In dit hoofdstuk maken we de volgende kwantitatieve en kwalitatieve aspecten inzichtelijk:

- De aantallen schepen die over het Maas-Waalkanaal en over de Oost-West verbinding van de Maas varen voor nu als voor 2040/2050 o.b.v. de vervoersgegevens uit de IMA 2021²⁸. (Belangrijk om hierbij op te merken dat deze cijfers gebaseerd zijn op de situatie met slechts 1 sluiskolk in Grave).
- Inzicht in de extra vervoersstromen in periodes van uitzonderlijke droogte zoals in 2018 waarbij de Maas als alternatief kan fungeren voor Duitse bestemmingen die anders via de Rijn zouden worden vervoerd.

We hanteren twee economische toekomstscenario's:

- WLO Hoog;
- WLO Laag;

Werkwijze

Het vervoerkundige deel gaat in op de aantallen schepen die de oost-westtak van de Maasroute en het Maas-Waalkanaal willen bevaren per scenario. Deze gegevens ontleen wij aan de hand van de vervoergegevens en achterliggende scenario's van de IMA. We maken inzichtelijk welke herkomst-bestemmingspatronen bediend worden voor schepen die regulier het Oost-West-gedeelte van de Maasroute bevaren, en welke patronen er achter de schepen zijn die normaliter het Maas-Waalkanaal bevaren, maar tijdens laagwater omvaren via Grave. Dat doen wij aan de hand van de reizenbestanden van Rijkswaterstaat; wij hebben deze voor de periode 2013-2020 tot onze beschikking. We zetten de patronen en intensiteiten ook in relatie tot de afvoer op de Waal, en maken zo inzichtelijk bij welke MGD op de Waal welk additioneel scheepvaartverkeer bij Grave verwacht mag worden.

Op basis van een analyse over het najaar van 2018 proberen we inzichtelijk te maken welke extra vervoersstromen er naar de Maascorridor omgeleid zijn als gevolg van langdurig laagwater op de (Duitse) Rijn.

4.1 Regulier scheepvaartverkeer door sluis Grave

De omvang van het scheepvaartverkeer bij sluis Grave kan sterk wisselen als gevolg van het feit dat het een omvaarroute vormt voor het verkeer tussen de zeehavens en Limburg ten tijde van lage waterstanden op de Waal. Onderstaande tabel illustreert het aantal passages van beroeps- en pleziervaart in de jaren 2015 t/m 2019.

Tabel 4: Overzicht scheepvaartpassages bij Grave (bron: RWS ZN & BIVAS)

Jaar	Beroepsvaart			Recreatievaart	Totaal
	Passages	Volume (ton)	TEU	Passages	Passages
2015	11.090	7.208.000	30.743	9.876	20.966
2016	10.609	6.457.657	33.150	9.166	19.775
2017 ²⁹	9.652	5.516.858	37.498	8.954	18.606
2018	12.705	9.670.610	73.388	8.628	21.333
2019	8.038	4.709.151	15.444	6.397	14.435

²⁸ De IMA baseert zich op het basisjaar 2019 waarin er niet tot nauwelijks werd omgevaren.

²⁹ Door het stuwincident bij Grave zijn de cijfers hierbij iets vertekend.



Hierbij dient aangetekend te worden dat de cijfers over beroepsvaart ook passagiersschepen omvatten. Deze zijn in navolgende beschrijving van het scheepvaartverkeer niet meer meegenomen. Daardoor wijken getallen iets af.

4.1.1 *Huidige situatie sluis Grave*

Het volume bij Grave bedraagt onder normale omstandigheden qua waterstanden ordegrootte **3 à 5 miljoen ton per jaar**. In 2019 werd ongeveer 4,5 miljoen ton goederen vervoerd. Dit betreft het verkeer tussen de noord-zuidtak van de Maas en de binnenhavens in Noord-Brabant (Waalwijk, Den Bosch, Veghel, Oss, etc.). Het zijn veelal kleine(re) schepen die dit transport uitvoeren en het overgrote merendeel van de goederen die vervoerd worden, betreft zand & grind. In totaal betreft het ongeveer 7.700 binnenvaartschepen op jaarbasis. De omvang van de recreatievaart is ongeveer gelijk.

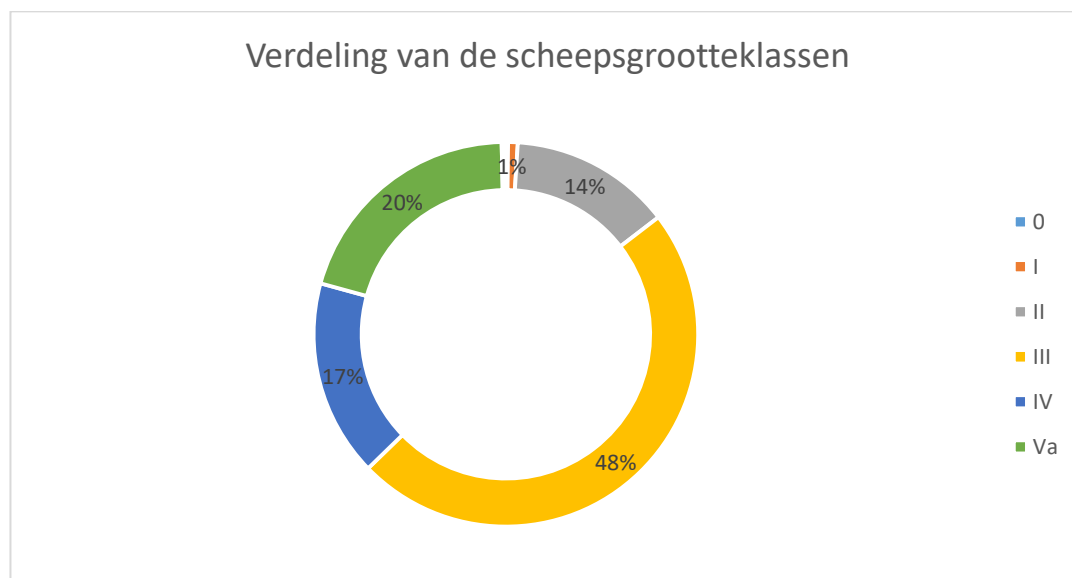
Grootte van de schepen

Onderstaande figuur toont de gemiddelde scheepsgrootte van het reguliere verkeer bij sluis Grave. De data hierbij is gelijk aan de invoer voor de sluisanalyses ten behoeve van de IMA 2021. Hierbij valt het volgende op:

- Het grootste gedeelte van de schepen bij de sluis Grave passeert is te categoriseren als CEMT-klasse III. Dit hangt samen met de specifieke kenmerken van de goederen die bij Grave passeren. Het gaat hierbij met name om zand- en grindschepen die naar bestemmingen zoals Den Bosch, Veghel en Oss moeten. Deze schepen hebben doorgaans een formaat van 800-1200 ton.
- Circa 15% van de schepen is van klasse I en II. Deze schepen hebben een lengte van hooguit 60 meter.
- Ongeveer 17% van de schepen betreft schepen van CEMT-klasse IV.
- Bij Grave is ongeveer 20% van de schepen te categoriseren als CEMT-klasse Va.

Kijken we naar de gemiddelde laadvermogens van de schepen, dan kent een schip dat bij Grave passeert een gemiddeld laadvermogen van 1346 ton.

Figuur 17: Verdeling van het scheepvaartverkeer bij sluis Grave naar CEMT-klasse (bron: Basisreizenstand en referentiepassages 2019)



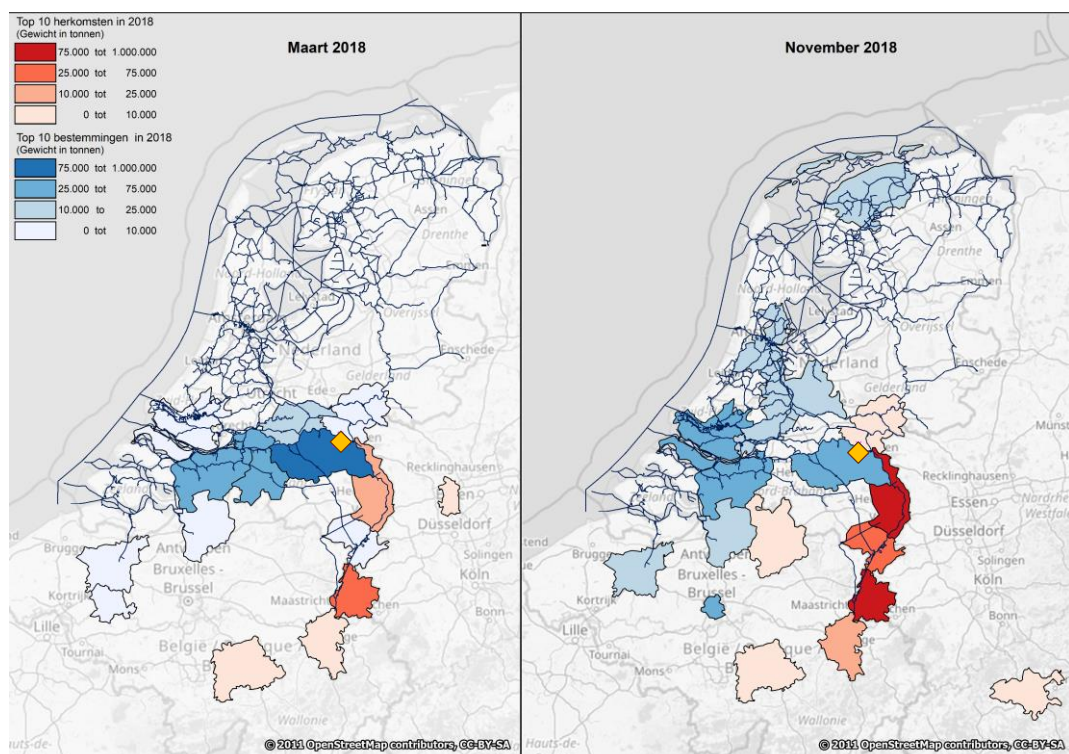
4.1.2 Herkomst / bestemmingspatronen sluis Grave

Onderstaande figuren tonen de herkomst- en bestemmingspatronen van het verkeer dat sluis Grave passeert. Deze plots zijn gemaakt tijdens een normaalwatersituatie op de Waal (maart 2018) en tijdens de piek van de droogteperiode (november 2018). We behandelen hierbij het verkeer in westelijke richting (Limburg ⇌ zeehavens) en oostelijke richting (zeehavens ⇌ Limburg) afzonderlijk. De top 10 herkomsten en bestemmingen zijn gedurende deze maanden op de kaart getoond.

Verkeer in westelijke richting

Onderstaande figuur toont de belangrijkste vervoersrelaties in **westelijke richting** bij sluis Grave tijdens maart 2018 (normale nautische omstandigheden op de Waal) en tijdens november 2018 (extreem laagwater).

Figuur 18: Herkomst- en bestemmingen van westgaand verkeer tijdens natte (links) en droge (rechts) omstandigheden op de Waal (bron: Panteia o.b.v. Basisreizenbestand en referentiep passages 2019)

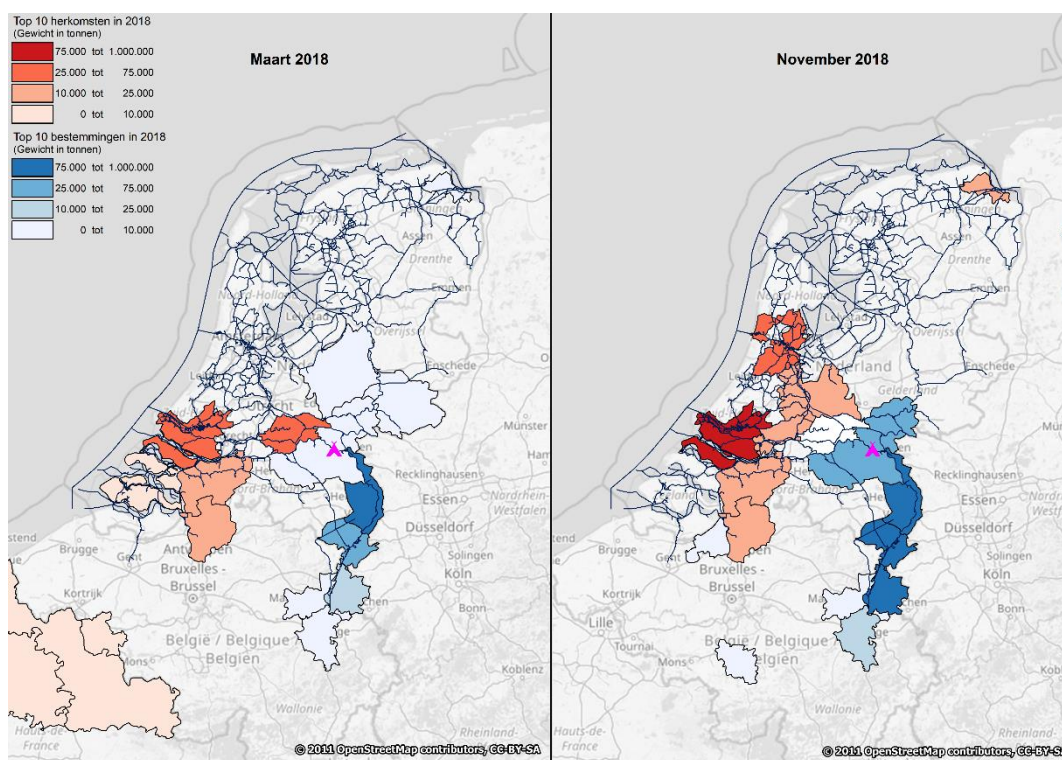


Het volgende valt op:

- Tijdens normale omstandigheden (maart 2018) is de dominante vervoersrelatie via sluis Grave gelegen tussen Noord- en Zuid-Limburg in relatie tot de regio Noordoost-Noord-Brabant. Er wordt nauwelijks verkeer afgewikkeld in relatie tot Rotterdam of Amsterdam. De conclusie is hierbij dat het met name om regionaal verkeer gaat. De toegevoegde waarde in de binnenhavens die dit verkeer afhandelen is weergegeven in paragraaf 2.2.
- In november 2018 wordt er niet alleen veel meer verkeer afgewikkeld – hetgeen blijkt uit de intensiteit van de kleuren – maar gaat het ook om andere relaties. De zeehavens (Amsterdam, Rotterdam, Antwerpen en Gent) lichten op, evenals herkomsten in Noord-Nederland en België (regio Brussel).

Onderstaande figuur toont de belangrijkste vervoersrelaties in **oostelijke richting** bij sluis Grave tijdens maart 2018 (normale nautische omstandigheden op de Waal) en tijdens november 2018 (extreem laagwater).

Figuur 19: Herkomst- en bestemmingen van oostgaand verkeer tijdens natte (links) en droge (rechts) omstandigheden op de Waal (bron: Panteia o.b.v. Basisreizenbestand en referentiepassages 2019)



Het volgende valt op:

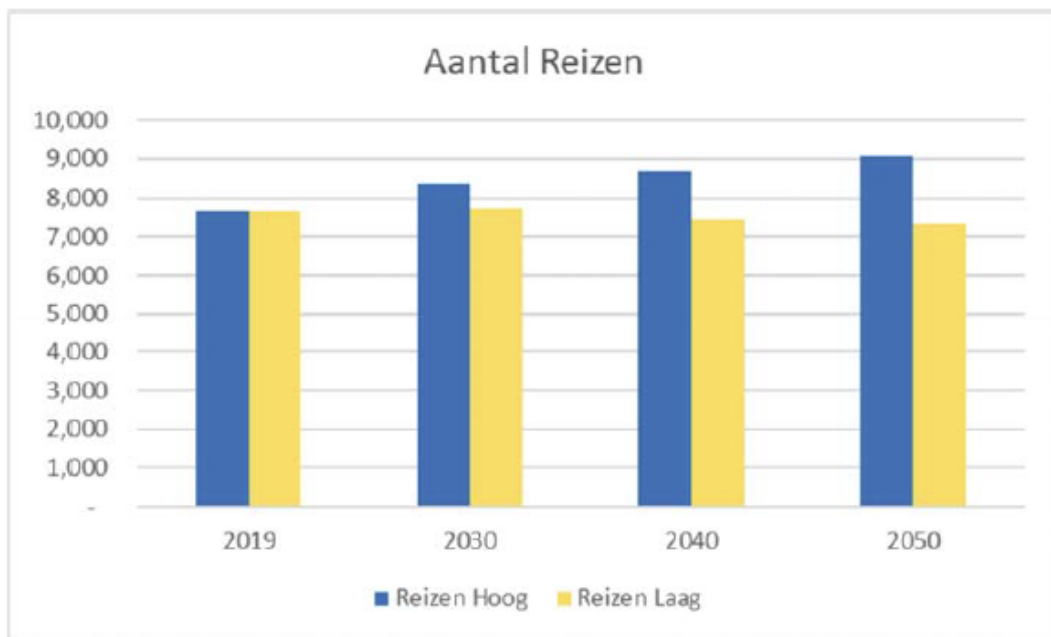
- In maart 2018, tijdens normale omstandigheden, zijn de belangrijkste herkomstgebieden de regio's Groot-Rijnmond en Zuidwest-Gelderland. Voor Groot-Rijnmond gaat het met name om verkeer in relatie tot de binnenhaven van Cuijk, voor Zuidwest-Gelderland gaat het om de zandwinning die plaatsvindt bij Maasbommel (project "Over de Maas"). De belangrijkste bestemmingslocaties zijn met name in Noord-Limburg gelegen. De toegevoegde waarde in de binnenhavens die dit verkeer afhandelen is weergegeven in paragraaf 2.2.
- Tijdens de laagwaterperiode zien we meer en andere herkomstbestemmingsgebieden opdoemen. Bijvoorbeeld de regio IJmond en Groot-Amsterdam, met verkeer afkomstig vanuit IJmuiden (staalproducten) en Amsterdam (m.n. agribulk). Er is zelfs verkeer waarneembaar vanuit Delfzijl. Bij de bestemmingen komen Midden- en Zuid-Limburg veel prominenter terug, maar ook de regio Luik.

4.1.3 Toekomstige situatie sluis Grave

De toekomstige situatie is gebaseerd op de IMA en de groei conform de WLO-scenario's "laag" en "hoog". Voor sluis Grave vormt de ontwikkeling in vervoerd gewicht en de schaalvergroting (geïllustreerd in de vorm van groei van het gemiddelde laadvermogen) de basis voor het toekomstige aantal beroepsschepen. Hierbij moet wel vermeld dat het aantal passages in 2019 relatief laag was met 7.660; het gemiddelde aantal over 2014-2020 was bijna 10.000. Het aantal passages van de recreatie- en passagiersvaart neemt hier af van gemiddeld bijna 7.000 in 2030 naar zo'n 5.000 in 2050. Deze passages zijn overigens niet meegenomen in figuur 20 die zich alleen richt op de beroepsvaart.

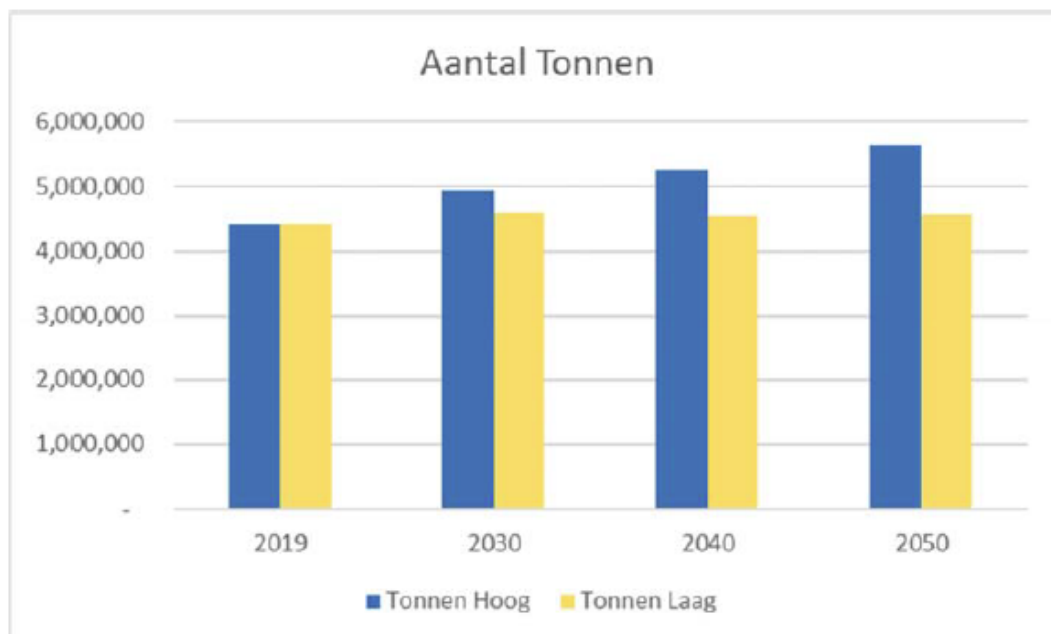


Figuur 20: Aantal beroepsvaartschepen dat passeert bij sluis Grave in 2030, 2040 en 2050 (bron: IMA 2021)



In het hoge groeiscenario is er stijging van vervoerd tonnage te zien ten opzichte van 2019, tot ongeveer 30% meer in 2050, in het lage scenario blijft het vervoer ongeveer constant. Het gemiddeld laadvermogen neemt toe door schaalvergroting, waardoor het aantal passages in het lage scenario licht afneemt. In het hoge scenario neemt het aantal passages wat toe.

Figuur 21: Verwachte ontwikkeling van het tonnage dat passeert bij sluis Grave in 2030, 2040 en 2050 (bron: IMA 2021)

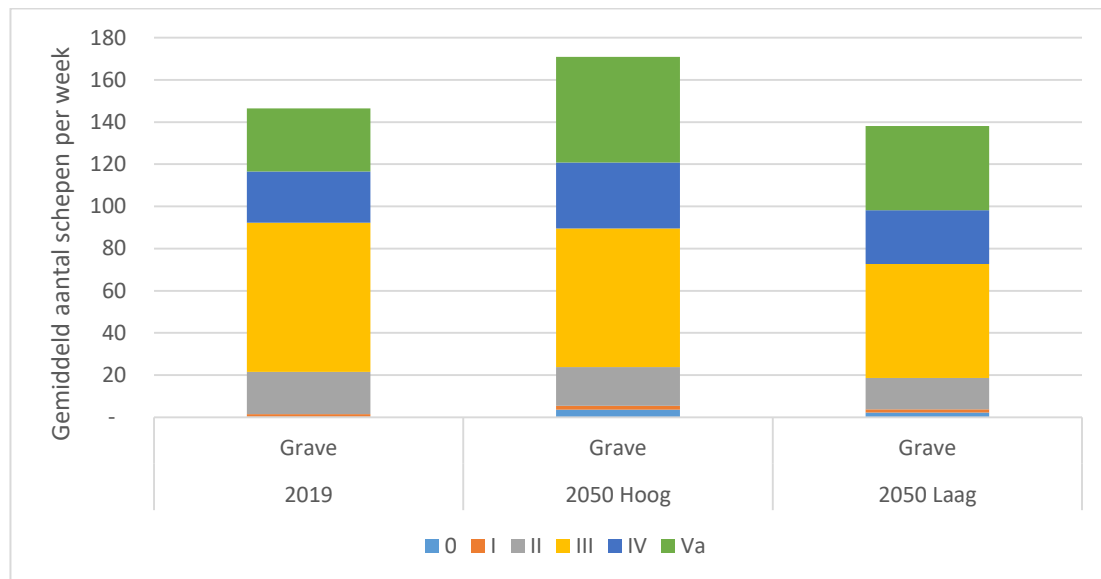


Bij sluis Grave treedt bovendien schaalvergroting op. Onderstaande figuur illustreert de groei van de scheepvaart. Uit de figuur blijkt dat bij Grave slechts een beperkte



schaalvergroting verwacht wordt, met een beperkte afname van CEMT-klasse II en III schepen en een beperkte toename van klasse Va schepen.

Figuur 22: Verwachte vlootontwikkeling bij sluis Grave naar 2050 toe (Hoog en Laag scenario). Bron: IMA 2021



4.2 Uitwijkend verkeer bij laagwater op de Waal

De omvang van het scheepvaartverkeer bij sluis Weurt kan sterk wisselen. Dit is het gevolg van het feit dat het deel van de beladen scheepvaart in relatie tot Limburg een omvaarroute in de oost-westtak van de Maasroute besluit om te varen ten tijde van lage waterstanden op de Waal. Onderstaande tabel illustreert het vervoerde volume door sluis Weurt in de jaren 2014 t/m 2019. Merk de sterke daling op van het volume in 2018 als gevolg van langdurig lage waterstanden op de Waal.

Tabel 5: Ontwikkeling scheepvaartvolume door sluis Weurt (bron: BIVAS)

Jaar	Vervoerd gewicht	TEU
2014	20.789.340	262.889
2015	18.814.760	232.874
2016	18.773.731	233.387
2017 ³⁰	18.159.135	225.138
2018	13.163.495	171.901
2019	21.053.330	308.717

4.2.1 Huidige situatie

Onderstaande figuur toont de omvang van het verkeer bij sluis Grave in 2019. Hiertoe is gekozen, doordat 2019 geen noemenswaardige lage waterstanden kende waardoor dit jaar maatgevend is voor een jaar met enkel 'regulier verkeer' bij sluis Grave. Hier bovenop is een situatie gelegd waarbij een gedeelte van het scheepvaartverkeer in Weurt omvaart op basis van de waterstanden die in 2018 zijn waargenomen.

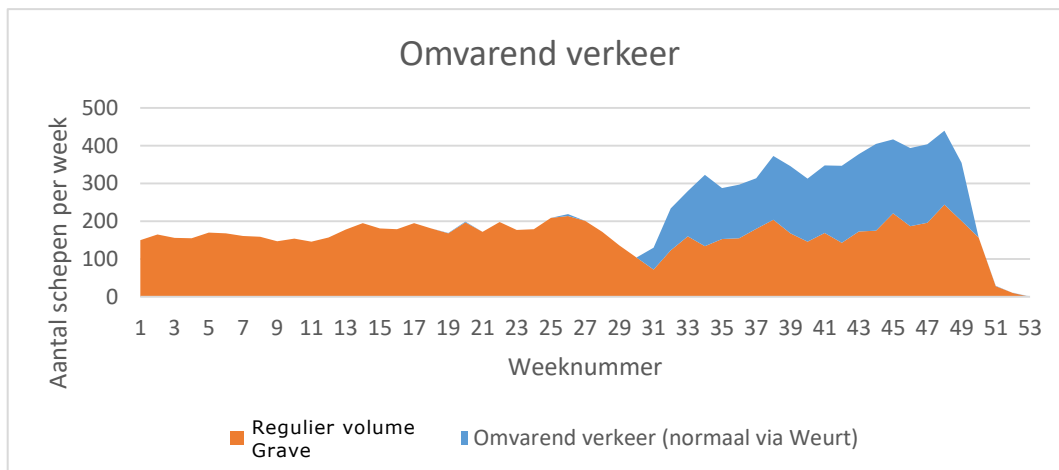
Daarbij wordt aangenomen dat een schip omvaart als aan de volgende twee condities is voldaan;

³⁰ Als gevolg van het stuwincident bij Grave op 28 december 2016, is er gedurende de eerste vijf weken van 2017 geen scheepvaartverkeer mogelijk geweest op het Maas-Waalkanaal.



- De scheepsdiepgang behorende bij een reis in 2019, is groter dan de Minst Gepeilde Diepte (MGD) op dezelfde dag in 2019;
- De scheepsdiepgang bedraagt niet meer dan 3,20 meter.

Figuur 23: Omvang van het omvarende verkeer door sluis Grave per week (bron: Basisreizenbestand)



Hieruit blijkt het volgende:

- De omvang van het reguliere scheepvaartverkeer bij sluis Grave bedraagt onder normale omstandigheden ongeveer 150 tot 200 passerende schepen per week. In de zomervakantie neemt dit aantal af, onder andere door de dan geringe activiteiten in de bouwmaterialenindustrie.
- Als gevolg van lage waterstanden op de Waal zullen schepen tussen West-Nederland en Limburg besluiten om te varen. Uit de grafiek blijkt dat het scheepvaartvolume door sluis Grave verdubbelt ten tijde van laagwaterperiodes. Hierdoor neemt het aantal schepen dat wekelijks passeert bij de sluis toe naar 300 tot 400 per week.

Tijdens extreem laagwater geldt dat vrijwel alle schepen³¹ die onder normale omstandigheden geladen over het Maas-Waal kanaal varen, via sluis Grave gaan varen. Daardoor nemen de wachttijden bij de sluis tijdens deze periodes sterk toe. Des te lager het water op de Waal, des te meer schepen via Grave varen. Het zijn ook andere schepen: grotere eenheden, waarvan er minder in één de sluiskolk passen en doorgaans ook geladen schepen (langzamere in- en uitvaartijden).

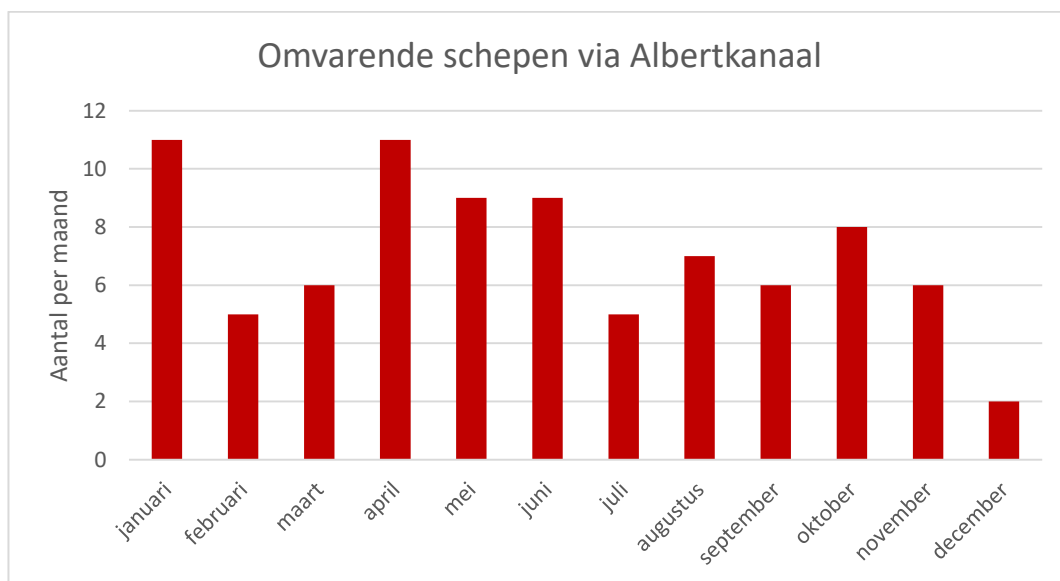
Latente vraag: schepen die via het Albertkanaal varen

Er is een latente vraag tijdens laagwater van schepen die via het Albertkanaal varen. Met name schepen die tussen de zeehavens varen en de havens in Zuid-Limburg (Maastricht Beatrixhaven en Stein) hebben in het Albertkanaal een gunstige alternatieve route om zowel het lage water op de Waal als de langdurige wachttijden bij sluis Grave te ontlopen. In absolute aantallen gaat het echter om weinig schepen. Er kan ook geen bewijs gevonden dat dit structureel vaker is gebeurd ten tijde van de laagwaterperiodes. Hiertoe is op basis van het Basisreizenbestand Binnenvaart 2018 en de referentiepassages bij Kreekrak onderzocht hoeveel schepen er bij de Kreekraksluizen (Zeeland) gepasseerd in relatie tot Limburg. Hieruit is geen overtuigend bewijs gevonden.

³¹ Hierbij doelen we op de schepen die varen op de relaties tussen de zeehavens en Limburg



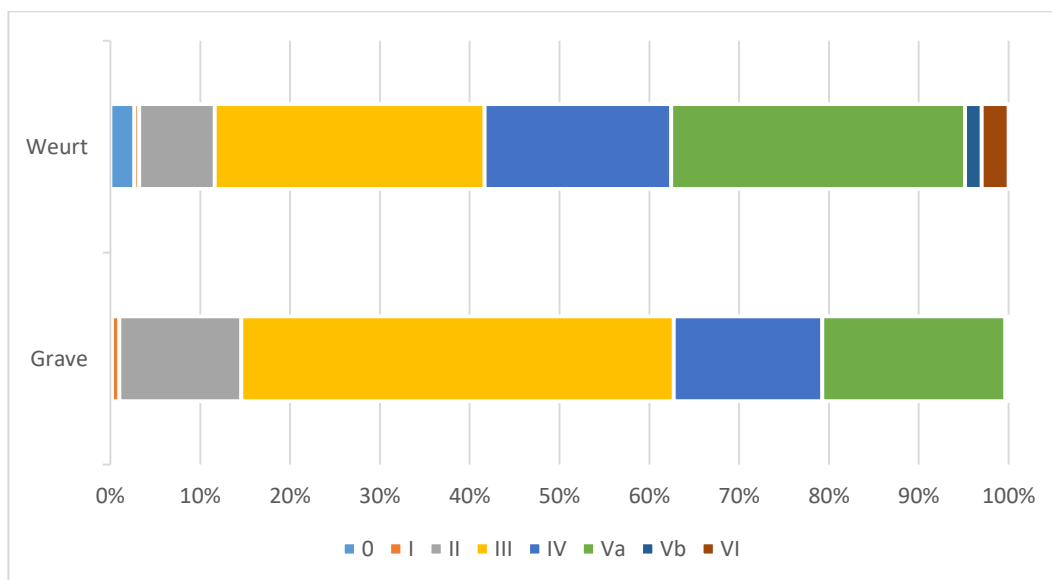
Figuur 24: Omvang van het omvarende verkeer via het Albertkanaal en de Kreekraksluizen per maand (bron: gebaseerd op feitelijke reizen in 2018.)



Grootte van de schepen

Onderstaande figuur toont de gemiddelde scheepsgrootte van het reguleren verkeer bij sluis Grave en sluis Weurt. De data hierbij is gelijk aan de invoer voor de sluisanalyses ten behoeve van de IMA 2021.

Figuur 25: Vergelijking tussen verdeling naar scheepsgrootteklassen voor sluis Weurt en sluis Grave in 2019 (bron: inputdata sluisprognoses IMA 2021)



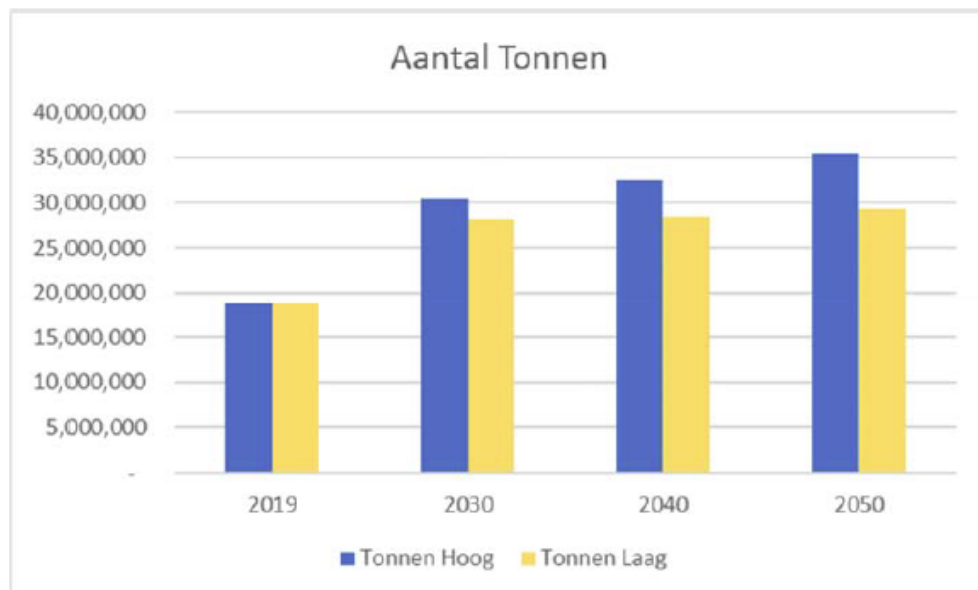
Uit deze data blijkt dat de vloot bij sluis Weurt gemiddeld gezien groter is dan bij sluis Grave. Dit onderscheid wordt het meest duidelijk als gekeken wordt naar schepen van CEMT-klasse Va en groter. Bij Grave is ongeveer 20% van de schepen te categoriseren als CEMT-klasse Va (groter gaat niet door de sluis) of groter; bij sluis Weurt is dit bijna 40%. Daarentegen passeren bij Grave juist relatief gezien veel meer schepen van CEMT klasse III. Het aantal schepen van CEMT-klassen 0, I en II is bij beide sluizen gelijk. Kijken we naar de gemiddelde laadvermogens van de schepen, dan kent een schip dat bij Weurt passeert een gemiddeld laadvermogen van 1612 ton, tegen 1346 ton bij Grave.



4.2.2 Toekomstige situatie sluis Weurt

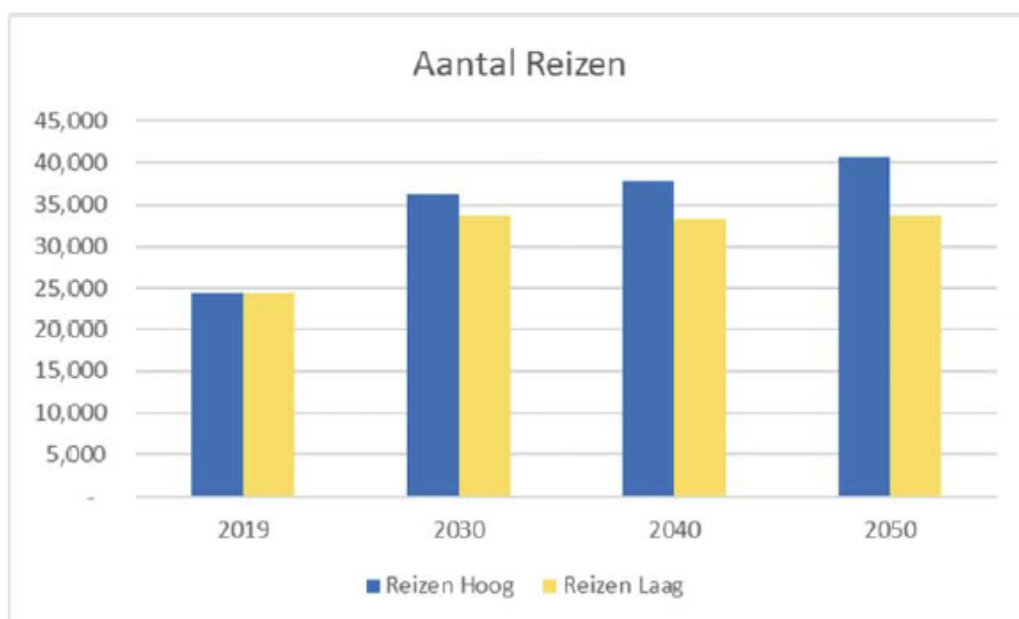
Het vervoer bij sluis Weurt blijft in het lage scenario op een bijna constant niveau (27 – 29 miljoen ton), het hoge scenario groeit naar ruim 35 miljoen ton in 2050. Dat is ongeveer het dubbele van het vervoer in 2019 volgens IVS. De historische trend van het vervoer langs sluis Weurt is licht dalend, dus zo'n sterke toename ligt niet direct voor de hand. De belangrijkste oorzaak van deze groei in de Basgoed prognose is moeilijk aan te wijzen; waarschijnlijk is een van de oorzaken dat er een relatief groot aandeel van sterke groeisectoren (containers, landbouwproducten, chemie) bij Weurt passeert.

Figuur 26: Verwachte ontwikkeling van het vervoerde volume door sluis Weurt (bron: IMA 2021)



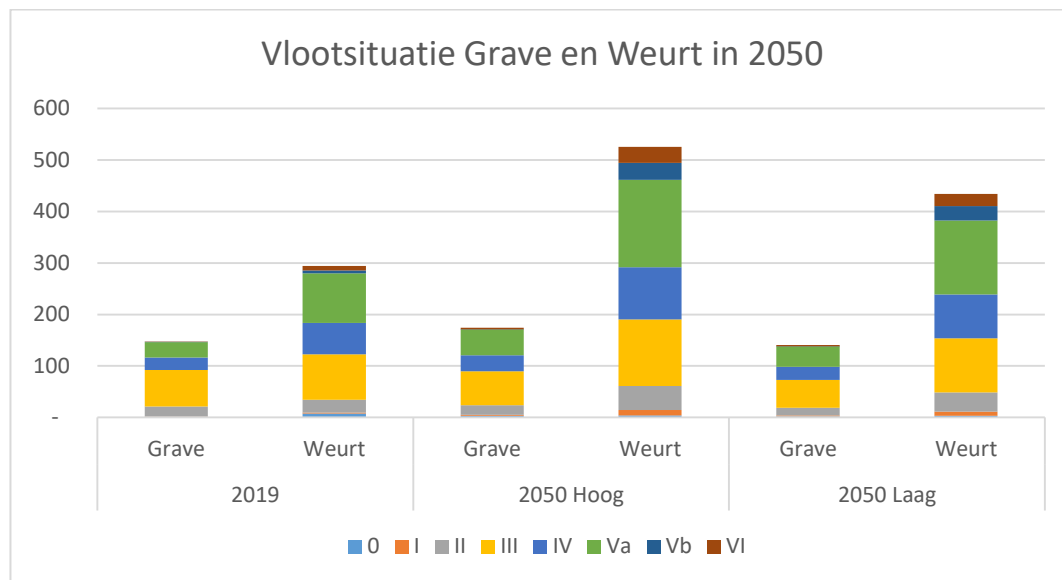
Omdat het gemiddeld laadvermogen stijgt is de toename in aantal passages relatief kleiner. In het lage scenario wordt in 2050 33.000 passages verwacht, in het hoge scenario groeit het aantal passages naar 40.000 toe.

Figuur 27: Verwachte ontwikkeling van het aantal scheepspassages door sluis Weurt (bron: IMA 2021)

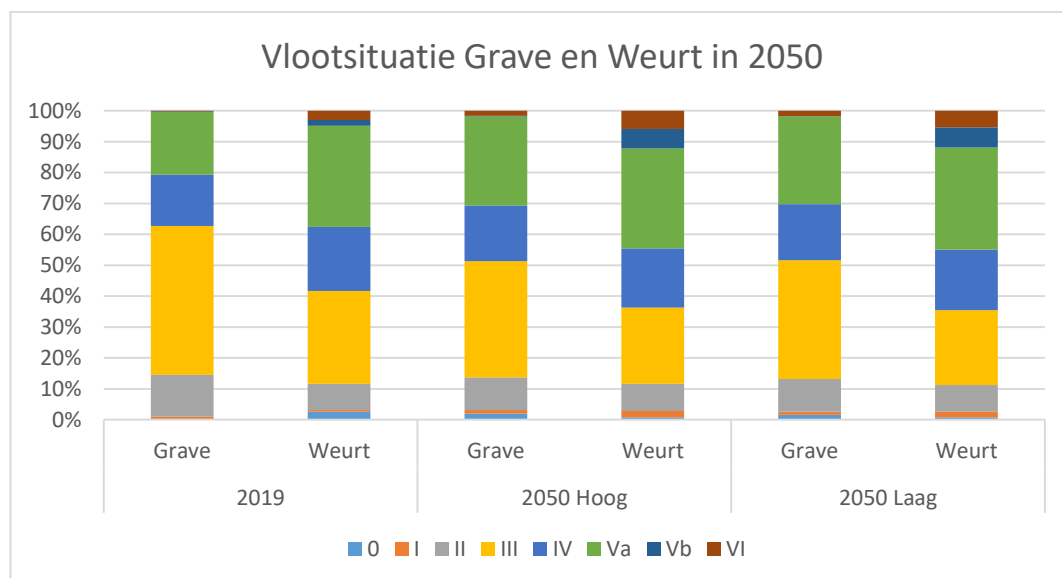


Onderstaande figuur toont de ontwikkeling van de vloot bij Grave en Weurt naar 2050 toe voor het hoge en lage scenario. Bij Weurt is hierbij enkel gekeken naar de geladen passages; lege passages zijn buiten beschouwing gelaten omdat lege schepen niet zullen omvaren bij lage waterstanden op de Waal. Uit de figuur blijkt dat er zowel bij Grave als bij Weurt schaalvergroting wordt verwacht. Het aandeel van klasse Va, klasse Vb en VI schepen neemt toe, waarbij geldt dat klasse Vb schepen door hun lengte enkel bij Weurt kunnen passeren.

Figuur 28: Absolute vlootontwikkeling sluis Grave (alle schepen) en Weurt (beladen schepen) naar 2050 toe (bron: IMA)



Figuur 29: Relatieve vlootontwikkeling naar scheepsgrootteklasse bij sluis Weurt en Grave naar 2050 toe (bron: IMA 2021)



4.3 Extra vraag door uitwijk vanaf de Rijn

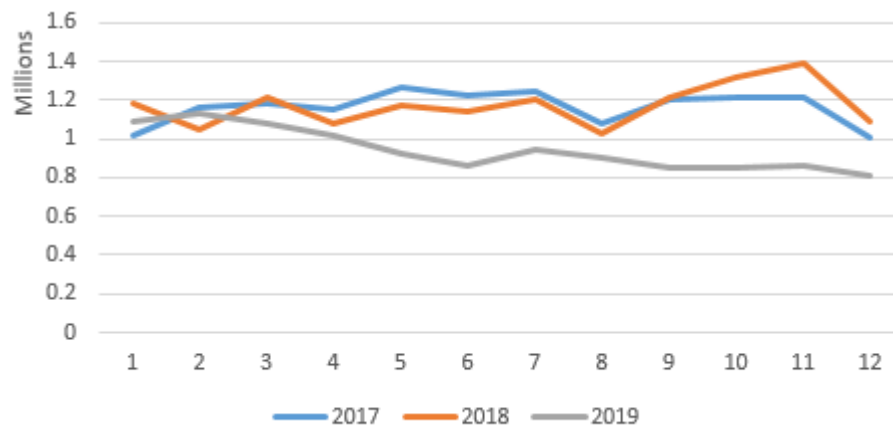
De Maas wordt tijdens periodes van extreem laagwater op de Waal en Rijn gebruikt als alternatief voor bevoorrading van Duitsland en Luxemburg. Op basis van het Basisreizenbestand 2018 is onderzocht of er ook cijfermatig bewijs gevonden kan worden voor deze stelling. Hierbij hebben we gekeken naar de maandelijkse omvang



van het volume in relatie tot de provincie Limburg en hebben we bouwmaterialen uitgezonderd. Er kon voor bouwmaterialen geen relatie gevonden worden tussen de waterstanden op de Waal en de vraag naar zand- en grind vanaf de Maas.

Onderstaande figuur toont het maandelijkse volume in relatie tot de provincie Limburg voor de jaren 2017, 2018 en 2019.

Figuur 30: Omvang van het volume op de Maas per maand in de jaren 2017-2019 (bron: Basisreizenbestanden Binnenvaart RWS)



Duidelijk zichtbaar is dat in 2018 de volumes piekten in de maanden oktober en november. Deze piek valt samen met de periode op de Waal en Rijn met de laagste waterstanden. Hieruit blijkt dat er ten tijde van langdurige laagwaterstanden op de (Duitse) Rijn, zeker uitwijk plaatsvindt naar Maashavens.

Op basis van de waarnemingen in 2018, kan gesteld worden dat het volume op de Maas toeneemt met ± 7.500 ton voor elke dag dat de MGD op de Waal onder de 220 cm ligt.



5 Sluisanalyse

5.1 Werkwijze

De volgende werkwijze is gehanteerd om voor de zichtjaren 2050 en 2120 de wachttijden bij sluis Grave te berekenen in het geval van één kolk (**referentie**) en twee kolken (**projectsituaties**).

5.1.1 Waterstandsontwikkelingen als een kansvariabele

De waterstanden in de toekomst kunnen we niet voorspellen. Deze zijn namelijk afhankelijk van een groot aantal factoren: de neerslaghoeveelheden in het stroomgebied van de Rijn, de temperaturen, de hoeveelheid sneeuw in de Alpen, etcetera. Wel weten we uit de klimaatscenario's van het KNMI wat het verwachte effect is op gemiddelde afvoeren per maand. Deze gemiddelde afvoeren zijn door het KNMI gebaseerd over een honderdjarige periode. De klimaatscenario's geven per maand aan hoe de verwachte afvoer zich ontwikkelt. Wij hebben deze verwachtingen geplot op een historische reeks dagelijkse waterstanden op de Rijn vanaf 1960 t/m 2020 – 61 volledige jaargangen dus. Dit is de langst mogelijke reeks die via <http://waterinfo.rws.nl> te verkrijgen is.

Vervolgens zijn voor de klimaatscenario's *Whdry* en *GL* de toekomstige afvoeren bepaald. Deze zijn verkregen door de daggemiddelden uit de reeks 1960-2020 te vermenigvuldigen met een factor die bepaald is door de toekomstige maandgemiddelde afvoer bij Lobith te delen op het maandgemiddelde in de referentiesituatie. Zo ontstaat een nieuwe reeks afvoeren voor zowel 2050 als 2085, bestaande uit de jaren 1960-2021. Elk jaar in deze periode heeft een gelijke kans van optreden naar de toekomst.

Om de hoeveelheid scenario's die met SIVAK berekend moest worden te beperken, zijn vervolgens vergelijkbare jaren samengevoegd. Hierbij is gekeken naar zowel de duur als de intensiteit van een laagwaterperiode. De volgende samenstelling is hierbij gebruikt:

Tabel 6: Clustering van waterjaren

#	Jaren	Classificatie
1	1960	Nauwelijks laagwater
2	1961, 1978, 2016	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar
3	1962	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar
4	1963	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)
5	1964	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar
6	1965, 1966, 1968, 1970, 1979, 1980, 1984, 1988, 1999, 2007, 2013	Nauwelijks laagwater
7	1967, 1981, 1982, 1987, 2000, 2001, 2002	Nauwelijks laagwater
8	1969, 1975, 1985, 1983, 2015	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar
9	1971	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar, langdurig en hevig laagwater in het najaar
10	1972	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar
11	1973, 2017	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.
12	1974, 2006, 2014	Beperkt laagwater
13	1976	Beperkt laagwater in het voorjaar, langdurig zeer hevig laagwater in het najaar
14	1977, 2005	Kortstondig laagwater in voor- en najaar
15	1986, 1996, 1997	Diverse kortstondige laagwaterperiodes
16	1989, 1998, 2009	Langdurig laagwater in het najaar
17	1990, 2020	Langdurig beperkt laagwater
18	1991, 1992, 2003	Langdurig en hevig laagwater in het najaar
19	2011	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar
20	2018	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar
21	1994, 1995	Kortstondig laagwater in het najaar
22	1993, 2004, 2008, 2010, 2012, 2019	Nauwelijks laagwater



Hierbij zijn scenario's gevormd bestaande uit meerdere waterjaren. Voor elk van deze waterjaren is een SIVAK-scenario doorgerekend. Daarbij is afhankelijk van de verwachte afvoer bij Lobith en het effect op Minst Gepeilde Diepte op de Waal, bepaald welk percentage van de *beladen vloot* bij Weurt (gebaseerd op 2019 zonder significant laagwater) economisch gezien om zal varen via Grave. Deze aantallen zijn op weekniveau bepaald.

5.1.2 Werkwijze in de SIVAK-applicatie

In de SIVAK-applicatie is voor sluis Grave een situatie gecreëerd waarbij een *gedeelte* van de *beladen vloot* bij sluis Weurt ook gebruik maakt van sluis Grave. Er is gebruik gemaakt van de vloten³² voor sluis Grave en sluis Weurt die ook in de IMA 2021 studie gebruikt zijn. Dit gedeelte is bepaald aan de hand van een *seasonality factor* die bestaat uit een fractie van de schepen in een kalenderweek die logischerwijs kan omvaren. Dit is voor alle 22 scenario's zo gedaan, per vaarrichting. Vervolgens is de situatie doorgerekend voor het referentiealternatief (één scenario, fictief jaar 2019 (met alle onaangepaste waterjaren er in, en toekomstjaren 2050 en 20120 met telkens 22 waterscenario's). De scheepsaantallen zijn in 2120 gelijk gebleven, wel wordt als gevolg van afvoerontwikkelingen meer uitwijkend verkeer van Weurt naar Grave verwacht.

Uit de logbestanden kon vervolgens per schip herleid worden wat de aankomst- en vertrektijd was in het netwerk dat sluis Grave moest definiëren. Met behulp van deze aankomst- en vertrektijden was het mogelijk om passeer- en wachttijden te bepalen en daaruit gemiddelden per scheepstype en 90% waarden af te leiden.

5.2 Sluisconfiguratie

De eigenschappen van de sluis Grave zijn opgenomen in de volgende tabel.

Tabel 7: Kenmerken sluis Grave

sluis Grave		
Kolkpreferentie		Beschikbaarheid
Schutmethode		Gemengd
Waterhoogte-tabel	Kant 1	75901 - sluis Grave O
	Kant 2	75902 - sluis Grave W
Meldpunt (km)	Kant 1	0,5
	Kant 2	0,5

Voor de sluisolk zijn de eigenschappen opgenomen in de volgende tabel.

Tabel 8: Kenmerken sluisolken behorende tot het stuw- en sluiscomplex Grave

Kolk		sluis Grave kolk	Aangenomen tweede kolk
Lengte (m)		142	200
Breedte (m)		16	18
Fuiklengte (m)	Kant 1	100	100
	Kant 2	100	100
Drempeldiepte (m)	Kant 1	1,00	0,7
	Kant 2	1,00	0,7
Duur openen deuren (min)	Kant 1	1,50	1,50
	Kant 2	1,50	1,50
Duur sluiten deuren (min)	Kant 1	1,50	1,50
	Kant 2	1,50	1,50
Nullast nivelleren	Van 1 naar 2	7,00	7,00
	Van 2 naar 1	7,00	7,00
Factor nivelleren	Van 1 naar 2	0,00	0,00
	Van 2 naar 1	0,00	0,00
Optimalisatie		geen	geen

³² Hierbij wordt rekening gehouden schaalvergroting voor zowel het reguliere als het omvarende verkeer.



5.3 Uitkomsten

In de huidige situatie met slechts één kolk bedragen de wachttijden gemiddeld 21 minuten. Gaan we uit van wijzigende rivierafvoeren conform het klimaatscenario WHdry en een laag economisch groei scenario (het WLO laag scenario zoals ook in de IMA wordt toegepast), dan nemen de wachttijden in 2050 toe naar gemiddeld 85 minuten en in 2120 naar gemiddeld 187 minuten (3 uur en zeven minuten).

In het hoge scenario (het WLO hoog scenario zoals ook in de IMA wordt toegepast) kan de sluis de toename van het verkeer, zowel het gevolg van autonome ontwikkeling als klimaatverandering, beslist niet aan. Er ontstaan tijdens de zeer frequente laagwaterjaren oneindige wachtrijsen die pas oplossen als de laagwaterperiodes voorbij zijn. Voor 2050 wordt een gemiddelde wachttijd berekend van 319 minuten (6 uur en 19 minuten), voor 2120 gaat het om 1231 minuten (20,5 uur). Verondersteld kan worden dat dergelijke wachttijden in de praktijk niet gehaald gaan worden. Verladers en vervoerders zullen in dergelijke situaties andere oplossingen gaan zoeken, zoals omvaren via het Albertkanaal (al zullen daar ook langdurige wachttijden gaan ontstaan), inzet van het wegvervoer of het beperken van de productie van fabrieken langs de noord-zuidtak van de Maasroute. De economische schade die daarmee gemoeid gaat, is mogelijk zelfs groter dan de berekende schade als gevolg van wachttijden.

In een situatie met een tweede kolk, blijven de wachttijden bij sluis Grave zeer beperkt. Zelfs in het scenario met het meeste verkeer (2120 Hoog in combinatie met WHdry), blijven de wachttijden beperkt tot maximaal 20 minuten. Door het aanleggen van een tweede sluis kolk ontstaat dan ook een robuuste situatie, zelfs ten tijde van extreem laagwater op de Waal. Ook wordt de kans op totale uitval van het sluiscomplex gereduceerd.

Een gedetailleerd overzicht van de uitkomsten is terug te vinden in Bijlage 3.

5.4 Vergelijking met de IMA

5.4.1 *Huidige wachttijden*

sluis Grave is doorgerekend tijdens de IMA 2021 studie. Daarbij is gekozen voor basisjaar 2019, een jaar met beperkt laagwater resulterend in een gemiddelde wachttijd van 21 minuten. Ook bij de prognoses voor de jaren 2030, 2040 en 2050, is in de IMA uitgegaan van een basisjaar (2014) dat ook kan worden getypeerd als een normaal jaar waarin de invloed van laagwaterstanden zeer beperkt was.

Door de keuzes voor deze gehanteerde basisjaren in de IMA 2021 worden de wachttijden voor sluis Grave onderschat. Zo blijkt dat de SVIR-norm van 30 minuten zou worden overtroffen indien de IMA-berekeningen waren uitgevoerd voor het basisjaar 2018. De wachttijden lagen destijds met een score van 54 minuten hoger dan de 21 minuten waar de IMA met basisjaar 2019 op uitkomt. Indien de IMA uit zou gaan van 2018 zou de SVIR-norm van 30 minuten worden overtroffen. Indien de score van 54 minuten wordt afgezet tegen de wachttijdscores van de andere sluizen die in de IMA als mogelijke knelpunten zijn meegenomen zou sluis Grave in 2018 zelfs het grootste capaciteitsknelpunt op het Nederlandse vaarwegennet worden. (Wellicht goed om hier ook nog even het verschil in feitelijke scheepspassages tussen 2018 (ongeveer 12.500) en 2019 (ongeveer 7.000/IMA) weer te geven.

Belangrijk om hierbij te constateren dat de gemiddelde wachttijden voor sluis Grave de erg kunnen fluctueren als gevolg van het willekeurig basisjaar dat in de IMA-analyse



wordt gehanteerd terwijl deze wachttijdfluctuaties voor de overige Nederlandse sluisen beperkter zijn. Dit komt omdat sluis Grave in periodes van droogte immers als alternatieve vaarroute wordt gebruikt voor een deel van de aanzienlijke grotere binnenvaartstromen die normaliter vanuit Limburg via het Maas-Waalkanaal en sluis Weurt naar o.a. de haven van Rotterdam varen. Voor een nadere toelichting kan worden verwezen naar Hoofdstuk 5/6 van het onderzoek. Hier dient dan ook de overschatting van de passages bij Weurt in jaren van droogte en de relatie tussen Weurt en Grave te worden uitgewerkt.

5.4.2 Toekomstige wachttijden en vaartuigverliesuren

Wachttijden

Om de toekomstige capaciteitsknelpunten voor Grave objectiever in beeld te brengen en de verschillen in wachttijden te verminderen is in dit onderzoek gerekend met toekomstige passages³³ die gebaseerd zijn op de gemiddelde diepgang van de Waal van de afgelopen jaren inclusief een doorrekening naar toekomstige jaren. Deze doorrekening is gebaseerd op de effecten van klimaatverandering, bodemdaling en bodemerosie die allen een negatief effect hebben op de bevaarbaarheid van de Waal tijdens droge periodes.

Tabel 9: Overzicht wachttijden IMA 2021

IMA 2021	Passages basisjaar	Wachttijd 2019	Wachttijd 2050 Laag	Wachttijd 2050 Hoog
Oranjesluizen	42.500	18	30	44
Houtribsluizen	35.000	18	32	51
Prinses Margrietsluis	18.500	19	38	55
Sluis Gaarkeuken	14.000	16	26	38
Oostersluis	13.500	18	46	64
Delden	7.500	32	26	37
Grave	7.500	21	22	27
Grave (conform waterstanden die in huidig onderzoek zijn meegenomen)	7.500	21	85	319
Sint Andries	9.500	21	37	60
Weurt	28.000	16	31	48
Schijndel	9.500	20	15	22
Hansweert	39.000	14	18	23
Krammersluizen	37.500	11	15	18
Kreekraksluizen	68.000	20	57	152
Volkeraksluizen	106.000	24	42	80

Door de nadere berekeningswijze die er in dit onderzoek voor sluis Grave is gehanteerd, waarbij rekening gehouden wordt variaties in scheepvaartverkeer als gevolg van wisselende waterstanden op de Waal, blijkt dat de wachttijd in 2050 conform het groeiscenario WLO Laag in Grave uit te komen op 85 minuten t.o.v. de 22 minuten die in de IMA is aangegeven. Het knelpunt in Grave is hiermee hoger dan de toekomstige wachttijden die in de IMA voor 2050 worden gerealiseerd voor de sluisen in Nederland waar eveneens capaciteitsknelpunten worden verwacht. Het gaat hier bij om de Kreekraksluizen (57 minuten), de Oostersluis te Groningen (46 minuten) en de Volkeraksluizen (42).

³³ Hierbij is rekening gehouden met schaalvergroting in de binnenvaart.



Wordt de nadere berekeningswijze die in dit onderzoek voor sluis Grave is gehanteerd gekeken voor het jaar 2050 conform het groeiscenario WLO Hoog uitgerekend dan komt de wachttijd uit op 319 minuten t.o.v. de 27 minuten die in de IMA is aangegeven. Het knelpunt in Grave is hiermee hoger dan de toekomstige wachttijden die in de IMA voor 2050 worden gerealiseerd voor de sluizen in Nederland waar eveneens capaciteitsknelpunten worden verwacht. Het gaat hier bij om de Kreekraksluizen (152 minuten), de Volkeraksluizen (80 minuten) en de Oostersluis (64 minuten). Een nadere uiteenzetting van deze resultaten is te vinden in hoofdstuk 5/6.

Vaartuigverliesuren

Belangrijk is het ook om naar het aantal vaartuigverliesuren te kijken. In dit rapport wordt voor de vaartuigverliesuren de volgende definitie aangehouden: de som van alle door vracht-binnenvaartschepen ondervonden totale wachttijden over het hele (prognose)jaar. De gedachte hierachter is dat de schuttijd ook ondervonden wordt als er helemaal geen ander verkeer is. Bij sluizen met een hoge verkeersintensiteit weegt een wachttijd dus zwaarder door als bij sluizen met een lage verkeersintensiteit. Kijken we naar de vaartuigverliesuren, dan zien we voor alle sluizen die in de IMA beschouwd zijn het volgende beeld ontstaan:

Tabel 10: Overzicht vaartuigverliesuren (bron: IMA 2021)

	Passages basisjaar	2019	2050 Laag	2050 Hoog
Oranjesluizen	42.500	11	22	39
Houtribsluizen	35.000	11	22	42
Prinses Margrietsluis	18.500	5	15	25
Sluis Gaarkeuken	14.000	3	8	14
Oostersluis	13.500	4	14	23
Delden	7.500	4	3	5
Grave	7.500	3	3	4
Grave (conform waterstanden die in huidig onderzoek zijn meegenomen)	7.500	3	26	214
Sint Andries	9.500	2	6	13
Weurt	28.000	7	18	33
Schijndel	9.500	2	2	3
Hansweert	39.000	9	15	22
Krammersluizen	37.500	7	12	17
Kreekraksluizen	68.000	21	78	246
Volkeraksluizen	106.000	32	95	209

Bovenstaande tabel laat de ontwikkeling van het de vaartijdverliesuren zien. De vaartijdverliesuren bij sluis Grave komen volgens de IMA met basisjaar in 2019 uit op in totaal 3.000 vaartuigverliesuren (volgens de IMA). De vaartuigverliesuren komen voor 2050 in het scenario WLO Laag dan uit op 26.000 t.o.v. 3.000 die in de IMA is aangegeven. In het scenario WLO laag is sluis Grave na de Kreekrak- en Volkeraksluizen het meest prominente sluisknelpunt in Nederland.

Voor het jaar 2050 met het scenario WLO Hoog stijgt de score naar 214.000 t.o.v. 4.000 die in de IMA is berekend. Daarmee is sluis Grave na de Kreekrak- en Volkeraksluizen het meest prominente sluisknelpunt in Nederland. Het aantal vaartuigverliesuren ligt ondanks de lagere intensiteiten bij sluis Grave in gelijke orde als bij de Kreekrak- en Volkeraksluizen.

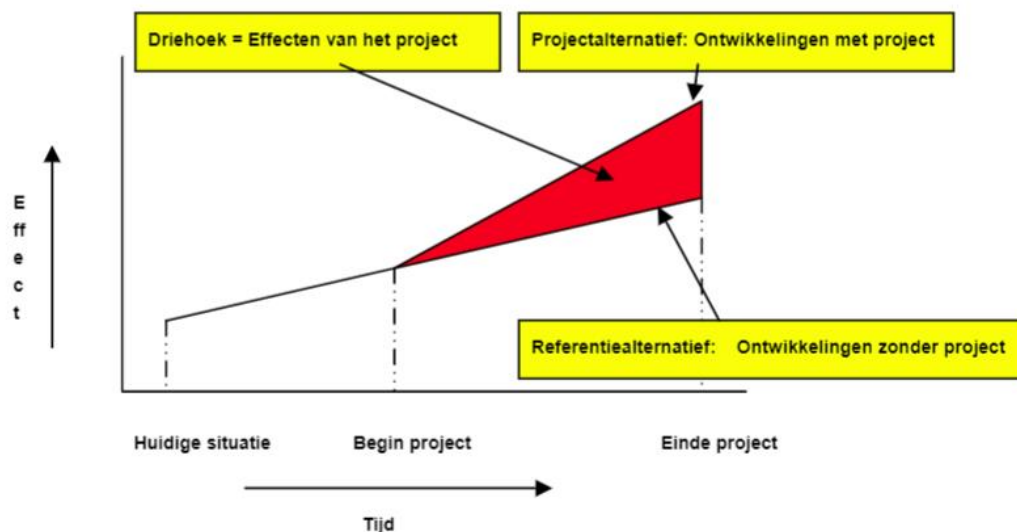


6 Maatschappelijke kosten-baten analyse

6.1 Werkwijze bij een MKBA

Een MKBA is een evaluatie-instrument dat het maatschappelijke rendement van een investering bepaalt. Daartoe worden alle effecten (zowel kosten als baten) die de welvaart (inclusief welzijn) van mensen beïnvloeden, meegenomen. Die effecten bestaan uit het verschil in ontwikkeling met en zonder de investering zoals hieronder geschetst (fictief project).

Figuur 31: Principe van een maatschappelijke kosten-batenanalyse (bron: RIGO)



Het rode vlak toont het totale effect over de loop van de tijd. Om effecten te berekenen moeten we dus niet alleen een beeld hebben over hoe de toekomst eruit ziet met het project (bovenkant rode vlak) maar tevens aangeven hoe de situatie zich zal ontwikkelen zonder project (onderkant rode vlak).

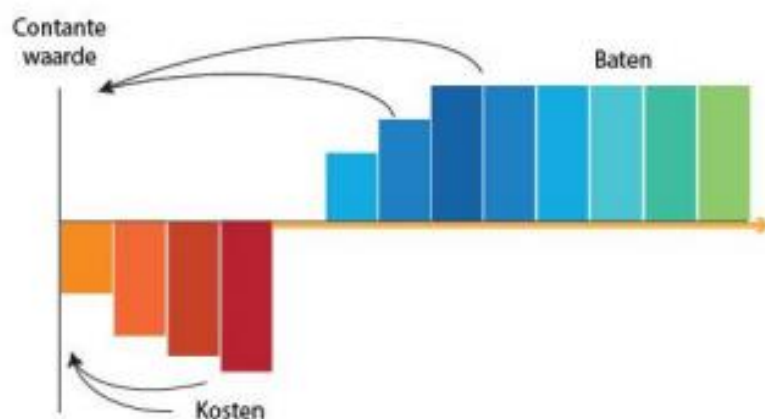
Disconteren van toekomstige kosten en baten

Een belangrijke eigenschap van de effecten is of deze monetariseerbaar zijn, dat wil zeggen: in geld uit te drukken. Is dit het geval, dan kunnen bedragen bij elkaar opgeteld worden en onderling vergeleken in een kosten-baten analyse. Een complicerende factor is dan wel dat de bedragen in de tijd verspreid kunnen liggen. Om toch investeringen die nu worden gedaan te kunnen vergelijken met toekomstige baten wordt een techniek toegepast die disconteren heet. Toekomstige geldbedragen worden hiermee uitgedrukt in een bedrag op hetzelfde moment als wanneer de investeringen worden gedaan, de zogenaamde Contante Waarde (CW). Optelling van de Contante Waarde van zowel kosten als baten levert de Netto Contante Waarde op (NCW).

De effecten van een maatregel worden teruggerekend met een vast percentage per jaar. Een ander woord voor dit percentage is de discontovoet. De discontovoet kan worden geïnterpreteerd als een rendementseis die vanuit maatschappelijk oogpunt aan een publieke investering of aan een publieke maatregel moet worden gesteld.



Figuur 32: Principe van het disconteren van kosten en baten



Toekomstige kosten en baten worden in de economische analyse gewaardeerd door deze te disconteren. Hierbij speelt de discontovoet een rol. Een economische analyse bestaat uit verschillende hoofdaspecten, zoals investeringskosten, natuureffecten en reistijdwinst. Op al deze aspecten kan de discontovoet verschillen. De volgende tabel geeft een overzicht.

Tabel 11: Gehanteerde discontovoeten (bron: Steunpunt Economische Expertise RWS)

	Hoogte discontovoet	Toelichting
Standaard-discontovoet	2,25%	Geldt voor alle typen beleidswijzigingen, en voor alle typen kosten en baten, behoudens de twee uitzonderingen hieronder.
Discontovoet voor vaste, verzonken kosten	1,60%	Geldt alleen voor kosten die (grotendeels) onafhankelijk zijn van het gebruik en een verzonken karakter hebben. Dit is van toepassing op de investeringskosten en instandhoudingskosten van de overheid.
Discontovoet voor sterk niet-lineair verlopende baten	2,90%	Geldt alleen voor baten die in sterke mate niet-lineair verlopen met het gebruik en waarbij bovendien het gebruik afhangt van de stand van de economie. Dit is van toepassing op de transportkostenbaten en de overheidsbaten.

6.2 Uitgangspunten bij de Maatschappelijke Kosten Baten Analyse

Wij hebben de volgende uitgangspunten gehanteerd bij de MKBA:

Tabel 12: Overzicht van uitgangspunten

	Uitgangspunt	Extra mogelijkheden in gevoeligheidsanalyse
Tijdshorizon	100 jaar	Geen
Economisch scenario	Lage groei	Hoge groei
Riverkundig scenario	Bodemerosie	Bodemherstel
Klimaatverandering	Whdry	GL

Onderstaand volgt een toelichting.

6.2.1 Tijdshorizon

Voor de investeringskosten voor het aanleggen van een tweede sluiskolk bij Grave is uitgegaan werkzaamheden (en uitgaven) in de periode 2023-2029, waarbij voorbereidende onderzoeken plaatsvinden in de jaren 2023-2026 en realisatie plaatsvindt in de periode 2027-2029.



De effecten van de projectalternatieven worden conform de Leidraad OEI bepaald over een 'oneindige' zichtperiode. Dit kan geoperationaliseerd worden door een zichtperiode van 100 jaar na het moment van ingebruikname van de infrastructuur te bezien. Bij ingebruikname van een project in 2015 worden de projecteffecten dus tot en met het jaar 2114 in beeld gebracht (met behulp van kengetallen en groeicijfers).

Alle kosten en baten zijn bepaald in het prijspeil 2021.

6.2.2 *Groei van het goederenvervoer over water*

Toekomstverkenningen of prognoses voor het goederenvervoer geven inzicht in de mogelijke knelpunten, bijvoorbeeld op de weg, het spoor, bij sluizen, havens of terminals. Referentieprognoses vormen een ijkpunt om inzicht te krijgen in de effecten van maatregelen, zoals het invoeren van heffingen, aanleggen van (vaar-) wegen of openen van terminals.

De prognoses die in deze studie gebruikt zijn, zijn gemaakt met het strategische goederenvervoermodel BasGoed. Deze worden vanaf 2021 door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat gebruikt als referentie. Deze referentieprognoses bevatten al het beleid en ontwikkelingen die op basis van de huidige besluiten en inzichten zullen plaatsvinden.

BasGoed maakt gebruik van de WLO omgevingsscenario's voor de toekomstjaren. Voor BasGoed is de ontwikkeling van de economische sectoren leidend. De relatie tussen de ontwikkeling van de economie en van het goederenvervoer is groot. Als economische indicatoren zoals bruto binnenlands product een groei laat zien, dan groeit het goederenvervoer mee.

De WLO scenario's bevatten beschrijvingen van de economische ontwikkelingen. Deze zijn als volgt meegenomen:

- Economische groei is uitgesplitst naar 83 sectoren
- Transitie naar een duurzame energiezuinige toekomst in 2050
 - Kolenverbruik daalt met 70%
 - Olieverbruik daalt met 5% tot 10%
 - Aardgasverbruik daalt met 45% tot 55%
 - Biomassa neemt in omvang toe met 260% tot 380%
 - Waterstof speelt geen rol van betekenis
- Sluiting kolencentrales, kolen vervangen door biomassa
- Afvlakking gebruik en verwerking van ertsen
- Dematerialisatie (bijvoorbeeld van fysieke naar digitale krant)

BasGoed neemt de huidige ontwikkelingen met betrekking tot Corona niet mee in de prognoses. Dat betekent dat, zeker voor de eerste jaren na 2020, de prognoses te optimistisch zullen zijn. Daarom hebben wij er voor gekozen om uit te gaan van de prognoses gebaseerd op het **WLO-laag scenario** als uitgangspunt (gemiddeld 1% groei per jaar naar 2050 toe). Het hoge scenario wordt evenwel ook gepresenteerd maar minder plausibel geacht.

BasGoed maakt voorspellingen voor het zichtjaar 2050 voor beide economische scenario's. Deze MKBA loopt tot 2130. De economische groei en de afgeleide groei van de scheepvaartvolumes – inclusief schaalvergrotingseffecten – zijn tussen 2050 en 2130 constant gehouden. Dit is in overeenstemming met de beschreven werkwijze uit de Leidraad OEI.



6.2.3 Rivierkundig scenario

Bij dit onderzoek gaan we in het referentiescenario uit van het scenario met bodemerosie. De bodemligging van de Waal is erg bepalend voor de vaardiepten. De laatste jaren is gebleken dat de 'vaste laag' bij Nijmegen steeds bepalender werd voor het afladen van schepen richting Duitsland. Doordat de rivier zich met circa 2 tot 3 cm per jaar inslijt in de bodem, en de vaste lagen op diepte blijven, wordt de aflaaddiepte van de binnenvaart steeds verder beperkt. In het bodemherstelscenario brengen we de rivierbodem terug naar de situatie in 2010. Dit leidt tot meer aflaaddiepte bij dezelfde afvoeren. Het herstellen van de bodem is een zeer ingrijpende en zeer kostenintensieve maatregelen die waarschijnlijk niet voor 2040 gerealiseerd zal zijn. Daarom nemen het scenario met bodemerosie als uitgangspunt.

6.2.4 Klimaatveranderingsscenario

Bij dit onderzoek gaan we uit van het klimaatscenario WHdry. Het klimaat heeft een significante impact op de rivierafvoeren van de Rijn. Het klimaatscenario WHdry gaat uit van hogere afvoeren in het voorjaar en lagere afvoeren in het najaar. Het klimaatscenario GL gaat echter uit van een beperkte verandering van de afvoeren en geeft derhalve andere resultaten. Door het feit dat de klimaatscenario's van het KNMI uit 2014 hanteren, en er sindsdien het nodige extra bekend is geworden over de menselijke invloed op klimaatverandering³⁴ en de effecten van deze veranderingen op de rivierafvoer, voorzien wij dat de kans op optreden van het WHdry scenario naar de toekomst inmiddels groter is dan de kans op het GL-scenario. Bij het opstellen van de scenario's door het KNMI in 2014 hadden beide scenario's op basis van de wetenschappelijke consensus van toen nog een gelijke kans. Het klimaatscenario GL wordt als gevoeligheidsscenario doorgerekend.

6.3 Het referentiealternatief

Het referentie-alternatief bestaat in dit scenario uit een situatie waarbij het stuw- en sluiscomplex te Grave bestaat uit één sluiskolk met afmetingen 142 x 16 x 4,0 meter. De maximale afmeting van schepen die via deze sluis gesluisd kunnen worden bedraagt 135 x 15,5 x 3,20 meter. Daarmee is de sluiskolk **geschikt** voor CEMT-klasse Va motorvrachtschepen en éénbaksduwsteden met **diepgangsbepierking**. De sluis is evenwel als enige sluiskolk op de Maasroute **ongeschikt** voor CEMT-klasse Vb duwsteden (190 x 11,45 x 3,50 meter).

Het feit dat het stuw- en sluiscomplex beschikt over slechts één sluiskolk, maakt dat het complex erg kwetsbaar. Bij piekdrukke in het scheepvaartvolume, zoals eerder beschreven in hoofdstuk 4, is het aanbod van schepen (soms) groter dan de schutcapaciteit. Er ontstaan dan langdurige wachttijden. Bovendien geldt dat bij geplande en ongeplande stremmingen schepen geen alternatief kennen en langdurig moeten wachten.

6.4 De projectalternatieven

Bij deze MKBA gebruiken we de volgende projectalternatieven:

- **Alternatief 1: Een tweede sluiskolk bij het sluisencomplex van Grave**
In dit scenario wordt een extra sluiskolk bij sluis Grave gerealiseerd. Deze sluiskolk kent dezelfde afmetingen als de noordkolk van de Prinses Maxima Sluizen (Lith): 200 x 18,0 x 4,50 meter. Als een tweede sluiskolk met deze afmetingen gerealiseerd wordt, is het mogelijk om het stuw- en sluiscomplex van Grave te passeren met zowel CEMT-klasse VI motorschepen (tot zelfs een breedte van 17 meter (JOWI-

³⁴ Zie o.a. het IPCC rapport (<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>) en het Klimaatsignaal (<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/knmi-klimaatsignaal-21>)



klasse), maar deze kunnen niet door sluis Sambeek) en CEMT-klasse Vb-duwstellen. De diepgang waarmee het sluizencomplex gepasseerd kan worden neemt toe van 3,20 meter in de Ausgangssituatie naar 3,50 meter, maar doordat de buisleidingstraat bij Niftrik te ondiep ligt, blijft in dit scenario de maximale diepte van 3,20 meter op de oost-westtak van de Maasroute gehandhaafd.

- **Alternatief 2: Aanvullend ook verdieping van de buisleidingstraat te Niftrik**
In dit projectalternatief wordt ook de buisleidingenstraat van Niftrik aangepast. Deze belemmert momenteel, samen met de drempeldiepte van de bestaande sluiskolk te Grave, de maximale diepgang op dit deel van de oost-westtak van de Maasroute tot maximaal 3,20 meter. Schepen in CEMT-klassen Va, Vb en VI hebben een ontwerpdiepgang van 3,50 meter. Ook het Maas-Waalkanaal en de noord-zuidtak van de Maasroute zijn gedimensioneerd op een maximaal toelaatbare diepgang van 3,50 meter. Door de buisleidingenstraat te verdiepen, zodanig dat een ontwerpdiepgang van 3,50 meter gerealiseerd wordt, én een tweede sluiskolk bij het stuw- en sluiscomplex van Grave te realiseren, worden de twee bestaande diepgangsknelpunten op de oost-westtak van de Maasroute weggenomen en ontstaat een volwaardige scheepvaartverbinding over de Maas vanaf Maastricht tot Moerdijk van CEMT-klasse Vb met een ontwerpdiepgang van 3,50 meter.

6.4.1 Investeringskosten voor een tweede sluiskolk

Lievense (2019) geeft in hun studie naar robuuste vaarwegen op de corridors Oost en Zuidoost een kostenindicatie tussen de 100 miljoen en 500 miljoen aan. Dit is echter een te grote bandbreedte om bruikbaar te zijn voor deze maatschappelijke kostenbatenanalyse. Op basis van eerder onderzoek (NEA, 2007) en kostendata die door Rijkswaterstaat Zuid-Nederland ter beschikking is gesteld, kan geschat worden dat de realisatiekosten voor een tweede sluiskolk bij Grave in de orde grootte van € 80 tot € 220 miljoen zullen liggen. Rijkswaterstaat baseert zich hierbij op de kosten voor de Derde Sluiskolk bij de Prinses Beatrixsluizen (Lekkanaal, Nieuwegein) en de extra sluiskolk bij Eefde (Twentekanal). De volgende kosten zijn door Rijkswaterstaat aangegeven.

- Derde kolk van de Prinses Beatrixsluis: € 220 miljoen
Bijzonderheid: zeer grote duwvaartkolk (291 x 25 meter). Bij de aanleg is veel grondverzet geweest en moest het Lekkanaal verbreed worden.
- Noordkolk van Sluis Eefde: € 80 miljoen
Dit betreft een sluiskolk van 141,5 x 12,5 meter en deze kolk is dan ook significant kleiner dan de beoogde tweede kolk van sluis Grave.

In de MIT-verkenning voor de oost-westtak van de Maasroute (NEA, 2007) wordt voor varianten B (reconstructie en vergroten van de oude zuidwest kolk bij Grave) gesproken over investeringskosten van **indicatief € 131 miljoen (excl. BTW)**. Dit is een indicatie van de toenmalige Bouwdienst van Rijkswaterstaat. Corrigeren we dit bedrag voor inflatie en nemen we conform de leidraad OEI BTW (16,5%) mee, dan komen we uit op **€ 188 miljoen**. We gaan uit van besluitvorming in het jaar 2022, voorbereidende onderzoeken in de jaren 2023-2026 en realisatie in de jaren 2027-2030. De voorbereidende onderzoeken kosten € 10 miljoen (excl. BTW, prijspeil 2007): dat is € 14,3 miljoen met het prijspeil van 2021. De kosten worden evenredig over de jaren verdeeld.

Wij gaan uit van 0,4% van de initiële investeringskosten per jaar bij de jaarlijkse onderhoudskosten. Hierbij worden enkel de bouwkosten meegenomen en niet de voorbereidingskosten. Daarmee sluiten we aan bij de werkwijze bij onder andere de



MKBA voor de Nieuwe Zeesluis bij IJmuiden. In totaal komen de jaarlijkse onderhoudskosten uit op € 0,7 miljoen.

6.4.2 *Investeringskosten voor het verdiepen van de buisleidingenstraat*

In projectalternatief 2 wordt ook de buisleidingenstraat van Niftrik verdiept. De kosten voor deze verdieping zijn onbekend. Het rapport van Lieveense (2019) geeft evenwel aan dat verwacht mag worden dat de kosten zich binnen de range van € 1-10 miljoen bevinden. In deze studie gaan we uit van **€ 10 miljoen (inclusief BTW)**.

Voor de nieuwe buisleidingenstraat in Niftrik rekenen wij geen extra beheer- en onderhoudskosten toe. Daarnaast speelt bodemerosie zoals op de Waal in Niftrik nagenoeg geen rol. De buisleidingenstraat ligt er immers al, maar dan minder diep.

6.5 Te verwachten effecten

Als gevolg van een tweede sluiskolk bij Grave, verwachten wij de volgende projecteffecten:

6.5.1 *In beide projectalternatieven:*

- Een **reistijdvoordeel** voor regulier verkeer op de oost-westtak van de Maasroute. *Dit voordeel bestaat uit minder wachttijd bij de sluis. Deze wachttijden zijn voor het reguliere verkeer tijdens normale waterstanden zeer beperkt, maar desondanks kan er zo een halvering van de wachttijden verwacht worden.*
- Een **reistijdvoordeel** voor omvarend verkeer vanaf het Maas-Waalkanaal tijdens laagwaterperiodes. *Tijdens laagwaterperiodes zijn wachttijden bij sluis Grave van meerdere uren geen uitzondering. Een tweede sluiskolk kan deze wachttijden sterk normaliseren.*
- Een **reistijdvoordeel voor klasse Vb-schepen** waarvoor de (volledige) Maasroute de kortste route is, of tijdens hoogwater waarbij er getrapt geschut moet worden. *Klasse Vb schepen die nu tussen bijvoorbeeld Moerdijk en Venlo varen, moeten verplicht via het Maas-Waalkanaal varen. Deze route is langer (ongeveer drie kwartier) en kost meer brandstof (ongeveer 500 liter). Bij hoge waterstanden op de Waal moet er bij Weurt getrapt geschut worden. Hierdoor moeten CEMT-klasse Vb schepen ontkoppelen. Dit zorgt voor een langere sluispassage.*
- Een **betrouwbaarheidsvoordeel** doordat binnenvaartondernemingen meer zekerheid hebben over de tijd die benodigd is om het sluizencomplex te Grave te passeren. *De betrouwbaarheid van reistijden speelt vooral een rol bij lijndiensten: containervaart. Bij het inplannen van reizen moet rekening worden gehouden met variaties in passeertijden bij de sluis. Dit betekent dat niet de gemiddelde passeertijd maatstaf is, maar de kans op langere passeertijden. Bij langere (ingeplande) passeertijden kunnen soms minder reizen gemaakt worden per jaar en dit resulteert in hogere transportkosten per ton.*
- Een voordeel in termen van **robuustheid**, doordat regulier verkeer op de Maasroute en omvarend verkeer geen last meer hebben van totale uitval bij een stremming als gevolg van reparatie of onderhoud; *Sluizen hebben onderhoud nodig, en soms gaat er wat stuk. Bij sluis Grave betekent dat nu een totale uitval van het complex. Als er twee kolken zijn, kan er doorgeschut worden en nemen de wachttijden af.*
- Een vermindering van **emissies** doordat schepen minder lang hoeven stil te liggen bij Grave.



Emissievoordelen ontstaan doordat schepen geen (hulp)motoren meer hoeven te gebruiken tijdens het wachten op een schutting³⁵. Dat bespaart CO₂, stikstofoxiden en fijnstof. Ook ontstaan deze baten doordat CEMT-klasse Vb schepen niet meer hoeven om te varen. Een aanvullend effect is dat de stikstofdepositie op stikstofgevoelige Natura-2000 gebieden in de nabijheid van sluis Grave beperkt wordt. Een toelichting op de berekeningssystematiek is in bijlage 4 terug te vinden.

- **Indirecte economische effecten**, door een betrouwbaardere binnenvaart waardoor de regio Limburg aantrekkelijker wordt als vestigingslocatie.

Bij het aanleggen van een tweede sluiskolk (en eventueel het verdiept aanleggen van de buisleidingenstraat te Niftrik) is de verwachting dat de indirecte effecten vooral bestaan uit de schaalvoordelen voor de verladende bedrijven en de ladingontvangers en mogelijk extra werkgelegenheid. Door de investeringen verbetert de bereikbaarheid over water van de regio. De natte bedrijventerreinen (met een overslagkade) in de regio worden aantrekkelijker als vestigingsplaats voor (nieuwe) water-/ binnenvaartgebonden activiteiten.

Zoals gebruikelijk in een MKBA (en volgens de OEI-aanpak) is in deze studie uitgegaan van een opslag op de directe transportgerelateerde baten van 15%.

6.5.2 In projectalternatief 2, waarbij ook buisleidingenstraat Niftrik verdiept wordt: Aanvullend op bovengenoemd effect, treedt onderstaand effect op wanneer ook de buisleidingenstraat bij Niftrik (nu 3,20 meter) wordt verdiept naar 3,50 meter.

- Een efficiëntievoordeel voor schepen met een diepgang groter dan 3,20 meter; De diepste schepen op de Maas moeten nu lading achterlaten als zij verplicht via Grave moeten varen, of zodra de diepgang op de Waal kleiner is dan 3,50 meter. Bij het bouwen van een tweede kolk én het verdiepen van de leidingstraat bij Niftrik, kunnen deze schepen volledig afgeladen varen. Dit effect zorgt er voor dat reeds bij lagere waterstanden op de Waal schepen besluiten om te varen (meer verkeer bij Grave), maar ook voor minder aanbod van het reguliere verkeer dat al op maximale diepte sluis Grave passeerde. Ook versterkt de verdieping de push naar klasse Vb schepen.

6.5.3 De volgende effecten worden kwalitatief meegenomen

De belangrijkste effecten worden kwalitatief beschouwd:

- Effecten op **veiligheid** als gevolg van een verplaatsing van scheepvaartbewegingen Door een tweede sluiskolk bij het stuw- en sluiscomplex te realiseren wordt de Maasroute een gunstiger alternatief voor de route over de Waal. Met name gedurende periodes met lage waterstanden is de Waal een lastig te bevaren rivier, met een smalle vaargeul die juist als gevolg van deze lage waterstanden zeer intensief benut wordt door beperkt beladen schepen. Een tweede sluiskolk zorgt voor acceptabele en betrouwbare wachttijden, zelfs ten tijde van hevig laagwater op de Waal. Hierdoor neemt de verkeersdruk op de Waal af en dat komt de veiligheid ten goede. Het voornaamste effect zien wij bij lege schepen, die nu ten tijde van drukte juist het sluizencomplex bij Grave mijden door de langdurige wachttijden.
- Effecten op **natuur** als gevolg van minder stikstofdepositie; De natuur heeft ook baat bij minder emissies van (stilliggende) schepen bij sluis Grave. Schepen moeten extra manoeuvreren om stil te liggen en tijdens het stilliggen draaien vaak (inefficiënte) generatoren voor het huishoudelijk gebruik aan boord. Ook is er bij specifieke schepen een verbruik om de lading te conditioneren: zandschepen beschikken over pompen om het zand 'droog' te pompen,

³⁵ Dit effect dempt uit door internationaal (Fit for 55, Mannheim Declaration) en nationaal (Green Deal) beleid.



containerschepen moeten koelcontainers koel houden en (sommige) tankschepen moeten de lading viscosoos houden door het te verwarmen. Deze emissies vinden allemaal plaats nabij sluis Grave en hebben een effect op de stikstofgevoelige natuur in de buurt van het sluizencomplex. De volgende N2000-gebieden (habitatbescherming) liggen binnen 25 km van het sluizencomplex: Rijntakken (13 km), Veluwe (23 km), Maasduinen (21 km), De Broek (14 km), Sint Jansberg (11 km), Oeffelter Meent (14 km), Zeldersche Driessen (20 km).

6.6 Resultaten

In de maatschappelijke kosten-batenanalyse zijn de effecten van verruiming een tweede sluiskolk bij het stuw- en sluiscomplex van Grave zoveel mogelijk in geld gewaardeerd en in het volgende overzicht samengevat voor twee toekomstscenario's (WLO hoog en WLO laag). Daarbij de volgende toelichting op de posten:

- Het saldo van kosten en baten geeft de netto contante waarde weer (optelsom van alle contant gemaakte effecten, de netto contante waarde). Een positief saldo duidt op een maatschappelijk rendabel project.
- De baten/kosten verhouding is een andere manier om het resultaat te presenteren. Als de verhouding groter is dan één, dan is sprake van een rendabele investering. Is de verhouding kleiner dan 1, dan zijn de baten positief maar lager dan de kosten.
- De interne rentevoet tenslotte geeft het (maatschappelijk) rendement van de investering aan.
- Een nadere toelichting op de verschillende onderdelen van de MKBA is terug te vinden in Bijlage 4.

Onderstaand volgt het MKBA-overzicht voor het WLO laag scenario. Hierbij zijn de kosten en baten meegenomen in de periode 2021-2130.

Tabel 13: Overzicht kosten en baten voor het WLO Laag scenario (2021-2130)

	Tweede sluiskolk Grave <i>Geen verdieping buisleidingstraat</i> <i>Niftrik</i>	Tweede sluiskolk Grave <i>Verdieping buisleidingstraat</i> <i>Niftrik</i>
Reistijdvaart	110,5	110,7
Betrouwbaarheidsvaart	20,1	20,0
Klasse Vb Maasroute	3,0	3,3
Robuustheidsvaart	1,6	1,6
Verdieping Maasroute	0	1,0
Emissiebatens	3,7	4,5
Indirecte effecten	19,3	19,6
Uitwijkend volume Rijn	PM	PM
Nautische veiligheid	+	++
Natuur	+	++
Totale baten	158,2	160,7
Investeringskosten	169,3	178,2
Onderhoudskosten	30,3	30,3
Totale kosten	199,6	208,5
Saldo	-41,5	-54,2
Baten/kosten ratio	0,79	0,77
Interne rentevoet	1,8%	1,7%

Uit bovenstaande analyse blijkt dat een tweede sluiskolk bij Grave **positieve economische en maatschappelijke effecten** heeft. Het aanleggen van een tweede sluiskolk leidt tot positieve effecten op nautische veiligheid en natuur. Deze effecten worden verder versterkt als ook de buisleidingenstraat bij Niftrik wordt verdiept. Desondanks blijken de gediscoteerde kosten hoger dan de gediscoteerde baten: er resulteert een baten-/kostenratio van 0,77 (in het geval van ook verdieping van de buisleidingenstraat) tot 0,79. Beide projecten laten een positief rendement zien: 1,8%



in het geval dat enkel een tweede sluiskolk aangelegd wordt, en 1,6% in het geval dat ook de buisleidingenstraat bij Niftrik wordt verdiept. De baten (NCW) in het WLO-laag scenario komen overeen met € 158,2 miljoen tot € 160,7 miljoen. De kosten, bestaande uit investeringskosten en langjarige beheer- en onderhoudskosten, komen overeen met € 199,6 miljoen tot € 208,5 miljoen. Het MKBA-saldo is negatief voor beide projectalternatieven in het WLO-laag scenario: -€ 41,5 miljoen tot -€ 47,8 miljoen. Onderstaand volgt de tabel voor het WLO hoog scenario.

Tabel 14: Overzicht kosten en baten voor het WLO Hoog scenario (2021-2130)

	Tweede sluiskolk Grave <i>Geen verdieping buisleidingstraat</i> <i>Niftrik</i>	Tweede sluiskolk Grave <i>Verdieping buisleidingstraat</i> <i>Niftrik</i>
Reistijdbaai	920,6	929,6
Betrouwbaarheidsbaai	127,3	128,0
Klasse Vb Maasroute	3,7	4,1
Robuustheidsbaai	2,0	2,0
Verdieping Maasroute	0	1,1
Emissiebaton	21,0	22,3
Indirecte effecten	149,1	150,7
Uitwijkend volume Rijn	PM	PM
Nautische veiligheid	+	++
Natuur	+	++
Totale baten	1.223,7	1237,8
Investeringskosten	169,3	178,2
Onderhoudskosten	30,3	30,3
Totale kosten	199,6	208,5
Saldo	1.024,1	1.038,2
Baten/kosten ratio	6,18	5,98
Interne rentevoet	8,6%	8,5%

In het **WLO-scenario hoog** zijn beide opties voor een tweede sluiskolk bij Grave **maatschappelijk rendabel**. Dat hangt vooral samen met de sterke transportgroei die voorspeld wordt op de noord-zuidtak van de Maasroute en sluis Weurt in combinatie met klimaatverandering waardoor er frequentere en intensere laagwaterperiodes op de Waal ontstaan. Dit zorgt voor dusdanig veel omvarend verkeer, dat tijdens intense laagwaterperiodes het aanbod van schepen bij sluis Grave de schutcapaciteit (ruimschoots) overtreft. Er ontstaan op dat moment oplopende wachttijden die aanhouden tot het moment dat de laagwaterperiodes voorbij zijn. Deze langdurige wachttijden leiden tot zeer hoge reistijdbaten en bijgevolg ook betrouwbaarheidsbaten. Het werkt ook door in de indirecte effecten.

Verondersteld kan worden dat dergelijke wachttijden in de praktijk niet gehaald gaan worden. Verladers en vervoerders zullen in dergelijke situaties andere oplossingen gaan zoeken, zoals omvaren via het Albertkanaal (al zullen daar ook langdurige wachttijden gaan ontstaan), inzet van het wegvervoer of het beperken van de productie van fabrieken langs de noord-zuidtak van de Maasroute.

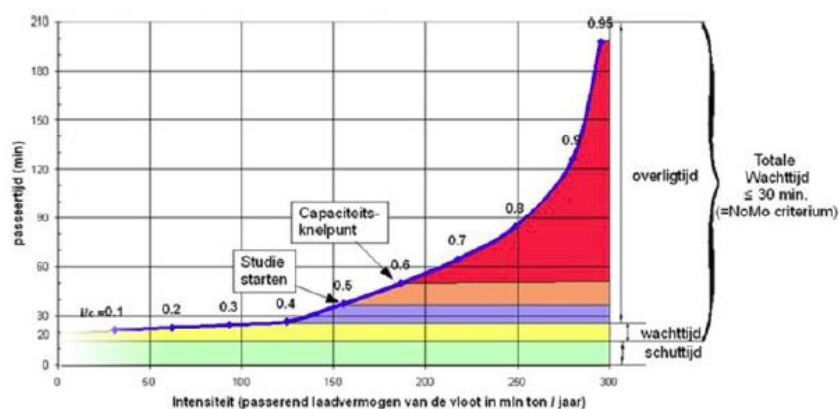
Bovenstaande uiteenzetting stelt kanttekeningen bij de economische baten in dit scenario, maar er kan niet gesteld worden of de berekende baten te hoog of juist te laag zijn ingeschat. Daartoe zou een brede netwerkstudie noodzakelijk zijn, waarbij allereerst de vraag beantwoord moet worden of de schutcapaciteit van de sluizen op de noord-zuidtak van de Maasroute en het Albertkanaal niet al te zeer uit de hand loopt. De baten zijn desondanks dusdanig dat gesteld kan worden dat het aanleggen van een tweede sluiskolk maatschappelijk rendabel is. Er resteert een **MKBA-saldo** (NCW) van € 1.024,1 miljoen tot € 1.038,2 miljoen. De baten-kostenratio bedraagt 5,98 (in het geval ook de buisleidingenstraat bij Niftrik wordt verdiept) tot 6,18 (in het geval enkel aanleg van een tweede sluiskolk). De interne rentevoet van de projecten bedragen 8,5% tot 8,6%.



In zijn algemeenheid kunnen we de volgende conclusies trekken:

- Bij een MKBA moet gerekend worden met zowel een laag als een hoog economisch groeiscenario. Daarbij kan het lage scenario worden gezien als een ondergrens voor de economische baten en het hoge scenario als een bovengrens. De baten-/kostenratio varieert voor het enkel aanleggen van een tweede sluiskolk tussen de 0,79 en 6,18, terwijl de situatie waarbij ook de buisleidingenstraat bij Niftrik verdiept wordt aangelegd resulteert in een baten-kostenratio van 0,77 tot 5,98.
- Bekijken we de specifieke projecten afzonderlijk, dan geldt dat het **aanleggen van een tweede sluiskolk bij Grave** gunstiger uitpakt dan het verdiepen van de buisleidingenstraat. Uit de MKBA-analyse blijkt immers dat het resultaat in termen van baten-kostenratio en interne rentevoet altijd hoger scoort voor projectalternatief 1: enkel een tweede sluiskolk en geen verdieping van de buisleidingenstraat te Niftrik. Enkel in het WLO Hoog scenario levert het verdiepen van de buisleidingstraat op zichzelf (ook) een positieve bijdrage aan het saldo; in het WLO Laag scenario is de netto-bijdrage negatief.
- Het project levert een beperkte bijdrage ten aanzien van het beperken van emissies en het verbeteren van de natuur. De bijdrage kan significant hoger verondersteld worden in het geval dat ook de buisleidingenstraat Niftrik verdiept wordt aangelegd, daar de emissie-effecten van die variant verder rijken. Bij enkel het aanleggen van de tweede sluiskolk zien we namelijk minder emissies in de voorhavens doordat er minder wachtende schepen zijn en beperkt minder emissies doordat klasse Vb samenstellen een kortere route kunnen varen (oost-westtak Maasroute i.p.v. via de Waal); bij het verdiept aanleggen van de buisleidingenstraat wordt dit effect verder versterkt.
- Er zijn **sterke aanwijzingen** dat het aanleggen van een tweede sluiskolk bij Grave ook maatschappelijk rendabel is. De ondergrens van de baten (WLO laag) ligt namelijk al goed in lijn met de te verwachten kosten (die met een grote onzekerheid zijn omgeven). Meer economische groei dan verondersteld leidt daarmee al snel tot een rendabel project, zeker doordat de reistijdbaten zich exponentieel verhouden tot de hoeveelheid verkeer door sluis Grave. Dit wordt geïllustreerd in figuur 33 waarbij voor een willekeurige sluis de relatie tussen intensiteit en passeertijd geschetst is. Bij een hoge verkeersbelasting van de sluis zien we de passeertijd exponentieel toenemen. Daarom ligt de baten-kostenratio in het hoge scenario ook significant hoger.

Figuur 33: Relatie tussen wachttijden en passerend verkeer (bron: Rijkswaterstaat)



6.7 Gevoeligheidsanalyse

In de paragraaf presenteren wij een gevoeligheidsanalyse van de resultaten. Dat doen we door bepaalde variabelen aan te passen. Voor deze studie is besloten om te gaan variëren met:

- Hogere of lagere investeringskosten ($\pm 25\%$)
De investeringskosten zijn met enige onzekerheid omgeven. We tonen hierbij enkel de resultaten van de MKBA met lagere investeringskosten. Dit omdat het hogere scenario de uitkomsten niet doet wijzigen; het lage scenario's wordt daarmee minder haalbaar en het hoge scenario heeft een dusdanig hoge score dat ook 25% hogere investeringskosten leiden tot een haalbaar project.
- Een ander klimaatscenario (GL i.p.v. WHdry)
Het klimaat heeft een significante impact op de rivierafvoeren van de Rijn. Het klimaatscenario WHdry gaat geheel in lijn met de heersende opvattingen uit van hogere afvoeren in het voorjaar en lagere afvoeren in het najaar. Het klimaatscenario GL gaat echter uit van een beperkte verandering van de afvoeren en geeft derhalve andere resultaten.
- Een ander bodemontwikkelingsscenario (bodemerstel i.p.v. bodemerosie).
De bodemligging van de Waal is erg bepalend voor de vaardiepten. De laatste jaren is gebleken dat de 'vaste laag' bij Nijmegen steeds bepalender werd voor het afladen van schepen richting Duitsland. Doordat de rivier zich met circa 2 tot 3 cm per jaar inslijt in de bodem, en de vaste lagen op diepte blijven, wordt de aflaaddiepte van de binnenvaart steeds verder beperkt. In het ambitieuze scenario brengen we de rivierbodem terug naar de situatie in 2010. Dit leidt tot meer aflaaddiepte bij dezelfde afvoeren. Het herstellen van de bodem is een zeer ingrijpende en zeer kostenintensieve maatregelen die waarschijnlijk niet voor 2040 gerealiseerd zal zijn.

6.7.1 Aangepaste investeringskosten

Onderstaande tabel toont het MKBA-resultaat bij **25% lagere** investeringskosten voor het economisch lage scenario.

Tabel 15: MKBA-saldo voor het lage economische scenario bij een verlaging van de investeringskosten met 25%.

	Tweede sluisolk Grave <i>Geen verdieping buisleidingstraat</i>	Tweede sluisolk Grave <i>Verdieping buisleidingstraat</i>
	<i>Niftrik</i>	<i>Niftrik</i>
Reistijdvaart	110,5	110,7
Betrouwbaarheidsvaart	20,1	20,0
Klasse Vb Maasroute	3,0	3,3
Robuustheidsvaart	1,6	1,6
Verdieping Maasroute	0	1,0
Emissiebaten	3,7	4,5
Indirecte effecten	19,3	19,6
Uitwijkend volume Rijn	PM	PM
Nautische veiligheid	+	++
Natuur	+	++
Totale baten	158,2	160,7
Investeringskosten	135,4	142,5
Onderhoudskosten	24,3	24,3
Totale kosten	159,7	166,8
Saldo	-1,5	-6,1
Baten/kosten ratio	0,99	0,96

Uit de tabel blijkt dat een verlaging van de investeringskosten met 25% leidt tot een MKBA-ratio van 0,95 of 0,93, afhankelijk van het wel/niet verdiepen van de buisleidingenstraat bij Niftrik. Tezamen met de niet gemonetariseerde baten, kan daarmee aangenomen worden dat de baten van het project ongeveer gelijk zijn aan de kosten.



6.7.2 Investerings in droogte mitigerende maatregelen

Een ander bodembeleid voor de Rijn leidt mogelijk tot een betere bevaarbaarheid. Onderstaande tabel toont de MKBA-saldi voor het lage en het hoge scenario in het geval dat enkel een tweede sluiskolk wordt aangelegd. De buisleidingenstraat bij Niftrik blijft op 3,20 meter diepte liggen.

Tabel 16: MKBA-saldi in het geval van het bodemherstelscenario

	Hoge groei	Lage Groei
Reistijdbaat	178,8	55,0
Betrouwbaarheidsbaat	30,6	10,1
Klasse Vb Maasroute	3,7	3,0
Robuustheidsbaat	1,5	1,4
Verdieping Maasroute	0	0
Emissiebaton	3,6	2,3
Indirecte effecten	30,5	10,0
Uitwijkend volume Rijn	PM	PM
Nautische veiligheid	+	++
Natuur	+	++
Totale baten	248,7	81,8
Investeringskosten	169,3	169,3
Onderhoudskosten	30,3	30,3
Totale kosten	199,6	199,6
Saldo	49,1	-121,4
Baten/kosten ratio	1,25	0,41

Belangrijk om te realiseren is dat een dergelijk bodembeleid tegen slechts zeer hoge kosten gerealiseerd kan worden. Het hoge scenario blijft bij een dergelijk bodemscenario nog steeds haalbaar – maar de baten nemen wel sterk af. In het lage scenario resulteert een baten-kostenratio van 0,39.

6.7.3 Geen klimaatverandering

Gaan we in plaats van het klimaatscenario WHdry uit van het scenario GL, dan resulteren de volgende uitkomsten.

Tabel 17: MKBA-saldo bij het klimaatscenario GL i.p.v. WHdry

	Hoge groei	Lage Groei
Reistijdbaat	34,0	16,7
Betrouwbaarheidsbaat	3,6	2,6
Klasse Vb Maasroute	3,7	3,0
Robuustheidsbaat	1,4	1,1
Verdieping Maasroute	0	0
Emissiebaton	2,7	1,7
Indirecte effecten	6,2	3,4
Uitwijkend volume Rijn	PM	PM
Nautische veiligheid	+	++
Natuur	+	++
Totale baten	51,6	28,5
Investeringskosten	169,3	169,3
Onderhoudskosten	30,3	30,3
Totale kosten	199,6	199,6
Saldo	-148,0	-171,1
Baten/kosten ratio	0,26	0,14

In een scenario zonder klimaatverandering is het investeren in een tweede sluiskolk bij Grave vanuit maatschappelijk oogpunt onrendabel. Wel zijn er andere argumenten, zoals een betere bevaarbaarheid voor klasse Vb schepen die ingrijpen noodzakelijk kunnen maken.



7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

7.1.1 *Omvang van het probleem*

De schutcapaciteit bij Grave wordt ernstig beperkt door het feit dat dit stuw- en sluiscomplex bestaat uit slechts één klasse Va schutkolk voor de scheepvaart. Deze kolk meet 142 meter x 16 meter en faciliteert schepen tot 3,20 meter diepgang. Tijdens normale waterstanden op de Waal is dit nauwelijks een probleem. Het verkeersaanbod op deze route is beperkt met jaarlijks ongeveer 7 tot 8 duizend binnenvaartschepen die samen ongeveer 5 miljoen ton lading vervoeren. Onder normale omstandigheden bedragen de wachttijden bij sluis Grave ongeveer 20 à 25 minuten per schutting en daarmee wordt de SVIR-norm van 30 minuten wachttijd niet overschreden. Wel is het zo dat grotere klasse Vb-schepen via de omvaarroute via het Maas-Waalkanaal moeten varen. Een ander probleem is dat klasse Vb en schepen met een diepgang groter dan 3,20 meter het sluizencomplex, als enige op de volledige Maasroute tussen Moerdijk en Luik, niet kunnen passeren. Deze schepen moeten noodgedwongen omvaren via het Maas-Waalkanaal.

Het sluizencomplex te Grave heeft in het netwerk echter wel een hele belangrijke functie. Bij functieuitval op de Waal of op het Maas-Waalkanaal, wordt een groot gedeelte van het scheepvaartverkeer in relatie tot Limburg en Luik omgeleid via sluis Grave. Dit verschijnsel doet zich voor tijdens elke laagwaterperiode. In het achterliggende decennium hebben we significante laagwaterperiodes meegemaakt in het voor- en najaar van 2011, en in het najaar van 2015 en 2016. Het jaar 2018 was een ongekend laagwaterjaar, met extreem lage waterstanden van augustus tot november. Tijdens periodes met lage waterstanden op de Waal, vaart een groot gedeelte van het volume tussen de zeehavens en Limburg – ordegrootte 20 miljoen ton per jaar en 1,5 miljoen ton per maand – om over Grave. Bij een diepgang op de Waal rond de 3,0 meter gaat het om ordegrootte 10% omvarend verkeer, maar dit neemt snel toe: bij 2,50 meter gaat het al om ongeveer 50% omvarend verkeer, bij 2,20 meter al om 80% en bij een diepgang geringer dan 2,0 meter – zoals langdurig in zowel oktober als november 2018 – zelfs 90% van het beladen scheepvaartverkeer. Zie hiervoor ook figuur 23 in hoofdstuk 4.

Het een en ander heeft ook gevolgen voor de passeer- en wachttijden bij sluis Grave. Tijdens periodes van laagwater kunnen deze enorm oplopen. Analyse van Panteia op basis van IVS'90-gegevens wijst uit dat de wachttijden ten tijde van de laagwaterperiode in 2018 zijn opgelopen naar gemiddeld bijna twee uur. Een uitschieter met 14 uur wachttijd werd zelfs waargenomen. Over het gehele jaar genomen bedroeg de gemiddelde wachttijd bijna 54 minuten in 2018; ruim boven de SVIR-norm. En met de verwachte klimaatverandering naar de toekomst, schaalvergroting in de binnenvaart en groeiende binnenvaartvolumes op de noord-zuidtak van de Maas lijken de wachttijden naar de toekomst sterker te gaan groeien.

Het een en ander is wel afhankelijk van het klimaatscenario. Hoewel het in 2021 uitgekomen IPCC-rapport en de eveneens in 2021 uitgekomen KNMI-update er op wijzen dat er in toekomst significante wijzigingen zullen gaan plaatsvinden en er dus sterke argumentatie is om een scenario met verre gaande klimaatverandering door te rekenen, zijn er ook scenario's die uit gaan een nauwelijks wijzigende verdeling van de rivierafvoeren over het jaar. In deze studie is gerekend met het WHdry scenario en het



GL-scenario van KNMI & Deltares uit 2014. In de scenario's met een significante klimaatverandering neemt de afvoer van de Rijn in het voorjaar sterk toe, terwijl deze in het najaar sterk afneemt. Waterjaren zoals 2018 worden dus nog extremer, de terugkeertijd van een jaar als 2018 is in de huidige situatie eens op 60 jaar maar kan in het WHdry scenario eens in de tien jaar gaan voorkomen. Een dergelijke klimaatverandering versterkt de noodzaak voor een tweede sluiskolk bij Grave.

7.1.2 *Probleemoplossend vermogen van een tweede sluiskolk*

Panteia heeft in deze studie simulaties gedaan van de wachttijdontwikkeling bij sluis Grave in een situatie met en zonder tweede kolk. Voor de afmetingen van de eventuele tweede kolk is aangesloten bij de Grote Kolk van de Prinses Maxima Sluizen te Lith: 200 x 18 meter. Met een dergelijke kolk is het mogelijk om klasse Vb schepen zonder te ontkoppelen de volledige Maasroute te laten bevaren. Panteia heeft voor de jaren 2050 en 2120 berekeningen gemaakt van de te verwachte wachttijden, mede gebaseerd op klimaatscenario's en verkeersscenario's. In de huidige situatie met slechts één kolk bedragen de wachttijden gemiddeld 26 minuten. Gaan we uit van wijzigende rivierafvoeren conform het klimaatscenario WHdry en een Laag economisch groei scenario, dan nemen de wachttijden in 2050 toe naar gemiddeld 85 minuten en in 2120 naar gemiddeld 187 minuten (3 uur en zeven minuten). Door het meenemen van de gewijzigde rivierafvoeren komt de kritische wachttijd van meer dan 30 minuten in tegenstelling tot de IMA-resultaten voor het jaar 2050 aanzienlijk hoger uit en vormt aan de hand van deze analyse een indicatie dat de capaciteit op dat moment ver van ontoereikend is.

In het hoge scenario kan de sluis de toename van het verkeer, zowel het gevolg van autonome ontwikkeling als klimaatverandering, beslist niet aan. Er ontstaan tijdens de zeer frequente laagwaterjaren oneindige wachtrijsen die pas oplossen als de laagwaterperiodes voorbij zijn. Voor 2050 wordt een gemiddelde wachttijd berekend van 319 minuten (6 uur en 19 minuten), voor 2120 gaat het om 1231 minuten (20,5 uur). Verondersteld kan worden dat dergelijke wachttijden in de praktijk niet gehaald gaan worden. Verladers en vervoerders zullen in dergelijke situaties andere oplossingen gaan zoeken, zoals omvaren via het Albertkanaal (al zullen daar ook langdurige wachttijden gaan ontstaan), inzet van het wegvervoer of het beperken van de productie van fabrieken langs de noord-zuidtak van de Maasroute. De economische schade die daarmee gemoeid gaat, is mogelijk zelfs groter dan de berekende schade als gevolg van wachttijden.

In een situatie met een tweede kolk, blijven de wachttijden bij sluis Grave zeer beperkt. Zelfs in het scenario met het meeste verkeer (2120 Hoog in combinatie met WHdry), blijven de wachttijden beperkt tot maximaal 20 minuten. Door het aanleggen van een tweede sluiskolk ontstaat dan ook een robuuste situatie, zelfs ten tijde van extreem laagwater op de Waal. Ook wordt de kans op totale uitval van het sluiscomplex gereduceerd.

7.1.3 *Economische analyse*

Op basis van de maatschappelijke kosten-batenanalyse kan daardoor gesteld worden dat het aanleggen van een tweede sluiskolk bij Grave zeer waarschijnlijk maatschappelijk rendabel is. Een MKBA heeft een rendabel resultaat als de Netto Contante Waarde (NCW) van kosten en baten positief is of de baten-kostenratio groter of gelijk aan 1 is. Conform de Leidraad OEI moeten bij een maatschappelijke kosten-batenanalyse zowel kosten als baten worden berekend voor een economisch hoge groei scenario als een lage groei scenario. Hierbij geldt het hoge scenario als de bovengrens van het maatschappelijk rendement en het lage scenario als de ondergrens.



In het economisch lage scenario bedraagt de baten-kosten ratio 0,79. Dat betekent dat het project maatschappelijk onrendabel is. Er zijn evenwel significante economische baten die over 100 jaar berekend de kosten lijken te benaderen. Het maatschappelijk rendement, uitgedrukt in termen van de interne rentevoet van het project, bedraagt 1,8%. Daarmee is de interne rentevoet net iets hoger dan de disconteringsfactor voor 'vaste kosten' à 1,6%. Effecten op de Maashavens zijn niet meegenomen in de MKBA-beschouwing. Zeker ten tijde van langdurig lage waterstand blijkt een gedeelte van het scheepvaartverkeer naar de Duitse Rijn omgebogen te worden naar de Maashavens. Dit effect kan bijdragen om de baten-kostenratio verder richting de 1 te stuwen. Dat geldt ook voor mogelijke verschuivingen bij winlocaties voor zand- en grind. Ten tijde van laagwater wordt het transport van bouwmaterialen vanuit de Rijn minder aantrekkelijk door de hoge transportkosten. Winning van deze grondstoffen langs de Maas is dan aantrekkelijker. Ook draagt het aanleggen van een tweede sluiskolk bij Grave bij aan meer veiligheid op de Waal doordat lege schepen door de overmatige aanwezige schutcapaciteit ook geneigd zullen zijn via Grave te varen³⁶. Tot slot geldt dat er beperkte baten zijn op in de nabijheid van sluis Grave gelegen natuurgebieden. Doordat schepen minder lang hoeven stil te liggen, stoten zij minder stikstofemissies uit. Diverse natuurgebieden kunnen daarvan profiteren.

In het hoge scenario bedraagt de baten-kostenratio voor een tweede sluiskolk 6,18. Hiermee is het een zeer rendabel project. De hoge baten zijn het gevolg van een overaanbod aan schepen als gevolg van een sterke groei van het verwachte scheepvaartvolume bij sluis Weurt (zie ook de IMA) en de verwachte klimaateffecten, waardoor de rivierafvoeren op de Waal sterk teruggelopen. Met name in het najaar leidt dit tot een te groot aanbod aan schepen die op de route tussen de zeehavens en de provincie Limburg ervoor kiezen om de economisch aantrekkelijker route (gegarandeerde diepgang van 3,20 meter; waardoor circa 90% beladen kan worden) over sluis Grave te nemen in plaats van de ondiepe route over de Waal (waterstanden van 1,50 meter - 15 tot 20% belading). In totaal besluiten dusdanig veel schepen de route over sluis Grave te verkieszen, dat de schutcapaciteit van de sluis gedurende lange periodes overschreden wordt. In deze periode ontstaat dan ook een oneindige wachtrij. In de praktijk zullen verladers en binnenvaartschippers andere oplossingen kiezen. Varen over de Waal is bij deze diepgang geen optie, maar dagen- tot wekenlang wachten bij sluis Grave ook niet. Andere oplossingen zijn omvaren via het Albertkanaal, het kiezen van een andere modaliteit (vrachtauto) of het verminderen van de productie. Met deze oplossingen ontstaat ook economische schade, mogelijk zelfs meer dan de gecijferde schade als gevolg van het langdurig wachten.

7.1.4 *Buisleidingenstraat Niftrik*

In deze studie is ook expliciet aandacht besteed aan het verdiepen van de buisleidingenstraat Niftrik. Naast de te ondiepe drempel van de bestaande sluiskolk te Grave, verhindert deze buisleidingenstraat schepen met een diepgang van meer dan 3,20 meter om over de oost-westtak van de Maasroute te bevaren. Het opheffen van dit knelpunt moet dan ook enkel uitgevoerd worden in combinatie met het aanleggen van een tweede sluiskolk.

De voordelen zijn bekend: door het opheffen van de diepgangsknelpunten kunnen schepen met een diepgang van 3,50 meter de volledige Maasroute, van Moerdijk tot Maastricht en Luik bevaren. Dit leidt tot een betere belading van de grotere schepen uit de vloot, minder verkeersbelasting bij de sluizen en minder emissies. De

³⁶ Tijdens langdurige laagwaterstanden neemt het aantal ongevallen op de Waal toe: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-31409-252.pdf>



buisleidingenstraat bij Niftrik en de sluiskolk bij Grave zijn enige knelpunten op het volledige traject. Uit de economische analyse blijkt evenwel dat de kans dat het opheffen van het knelpunt bij Niftrik maatschappelijk rendabel is, erg klein is. In veel scenario's leidt deze maatregel namelijk tot een lagere Netto Contante Waarde (NCW) en baten-kostenratio. Hierbij dient evenwel aangetekend te worden dat erg veel onzekerheid bestaat omtrent de kosten van de maatregelen.

7.2 Aanbevelingen

Op basis van het voorliggende onderzoek, formuleren wij de volgende aanbevelingen:

Combineer het aanleggen van een tweede sluiskolk bij Grave met het vernieuwen van de Stuw Grave

In 2028 staat er een grote renovatie voor de stuw bij Grave gepland. De stuw is zeer arbeidsintensief in het gebruik met veel handmatige handelingen. Er zitten veel kieren tussen de schotten waardoor er bij dit type stuwen groot lekverlies optreedt. Ook is het systeem gevoelig voor het vasthouden van rivierafval. Tijdens de vervanging van de stuw moet het afvoeren van hoogwater behouden blijven, evenals de doorgang voor weg- en scheepverkeer. Momenteel wordt er gestudeerd op diverse alternatieven. Wij adviseren om bij deze opgave ook de aanleg van een nieuwe klasse Vb kolk mee te nemen. Naast een optimalisatie van het totaalontwerp van het sluis- en stuwcomplex kan dit ook de kosten sterk terugdringen ('werk met werk maken').

Doe een algemene studie naar het optimale ontwerp voor een tweede sluiskolk

Voor deze studie is uitgegaan van sluisafmetingen bij een tweede kolk van Grave, gelijk aan de in 2001 opengestelde noordelijke sluiskolk van de Prinses Maximasluisen. De duwvaartkolken op de noord-zuidtak van de Maas beschikken over een kolk lengte van 225 meter en een breedte van 25 meter en zijn daarmee nog groter dan de noordelijke kolk van de Prinses Maximasluisen. Met het oog op de toekomst kan ook gekozen worden voor een benutbare kolk lengte van zowel een 110 als een 135 meter schip, waarbij een kolk lengte van minstens 255 meter vereist lijkt bij een breedte van 25 meter. Wij stellen voor een nauwkeurige ontwerpstudie te doen naar een nieuwe sluiskolk bij Grave en daarbij ook kosteninschattingen ($\pm 25\%$) te presenteren voor het ontwerp, zodat een nauwkeurigere MKBA neergelegd kan worden.

Wees voorbereid op nieuwe economische en klimaatscenario's

Recent publiceerde het KNMI het klimaatsignaal met daarin hernieuwde inschattingen van de neerslaghoeveelheden in het stroomgebied van zowel de Maas als de Rijn. Rijkswaterstaat WVL is daarnaast bezig het met hernieuwen van het basisjaar voor de goederenvervoerprognoses. Beide ontwikkelingen hebben mogelijk een significante impact op de uitkomsten van deze studie. Ons advies aan DGLM is om beide ontwikkelingen nauwgezet op te volgen en zodra beide resultaten (afvoerwachtingen en goederenvervoerprognoses) bekend zijn, mogelijk de MKBA te actualiseren. Wij adviseren daarbij ook nauwkeuriger het verkeer op de vervoersrelatie Noordzeekanaalgebied – Limburg te modelleren.

Onderzoek de kosten voor het verdiepen van de buisleidingenstraat bij Niftrik

Er bestaat erg veel onzekerheid over de kosten die gepaard gaan bij het verdiepen van de buisleidingenstraat bij Niftrik. Deze zijn voor deze studie ingeschat op € 10 miljoen (incl. BTW), maar Lievense (2019) geeft een brede range aan met kosten tussen de € 1 miljoen en €10 miljoen. Ons advies is om nader onderzoek te doen en een nauwkeurigere kosteninschatting te maken voor het verdiepen van de buisleidingenstraat te Niftrik.



Bijlagen

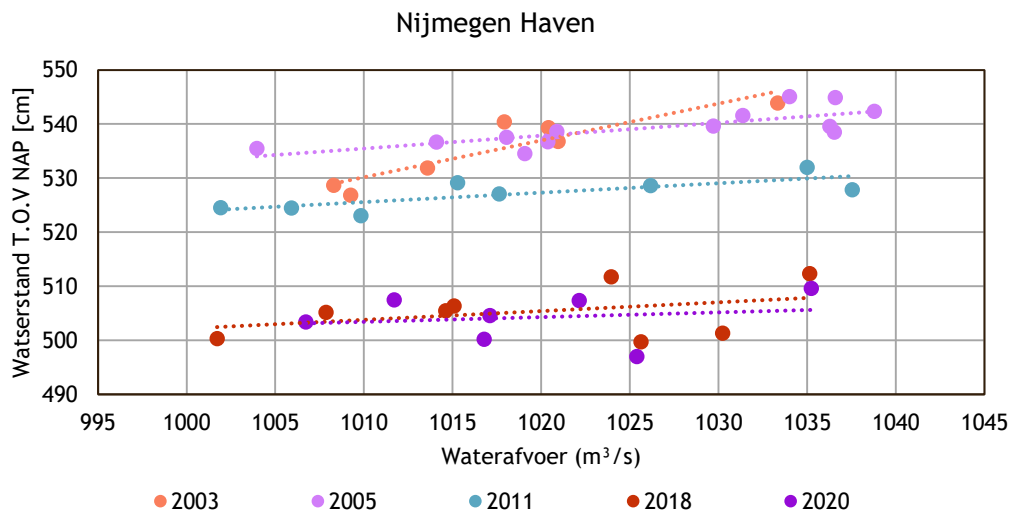
Bijlage 1 Ontwikkelingen met bodemerrosie

Historisch

Onderstaande figuren tonen de ontwikkeling van waterstanden bij verschillende peilstations langs de Waal. Hierbij is gekeken naar de afvoeren bij Lobith binnen het bereik van 1000 – 1040 m³/s. Bij deze afvoer hoort conform de definitie van de OLR, een vaargeuldiepte van 2,80 meter diep bij een vaargeulbreedte van 150 meter. We hebben hierbij gekeken naar de peilstations te Nijmegen Haven en Dodewaard. Deze peilstations zijn maatgevend voor de aflaaddiepte voor een schip dat via de Waal tussen de zeehavens en Limburg pendelt.

Uit de analyse over de jaren 2001-2020 blijkt dat de waterstanden gedurende de jaren 2003, 2005, 2011, 2018 en 2020 langdurig in dit bereik geweest zijn. Tevens blijkt dat de bij de afvoer corresponderende waterstand (in cm t.o.v. NAP) gedurende deze jaren is gezakt. Daar waar bij een afvoer in het bereik van 1000 tot 1040 m³/s in 2003 nog een waterstand van 535 à 540 cm boven NAP bereikt kon worden, is dit in 2018 en 2020 gedaald naar ongeveer 505 cm boven NAP. De rivierbodem is dus 30 centimeter meer gezakt in tussen 2003 en 2018; gemiddeld ongeveer 2 cm per jaar. Door ook het jaar 2011 te beschouwen, blijkt dat het erosietempo ook sneller gaat; in 2011 bedroeg de waterstand 525 à 530 cm boven NAP bij afvoeren tussen de 1000 en 1040 m³/s.

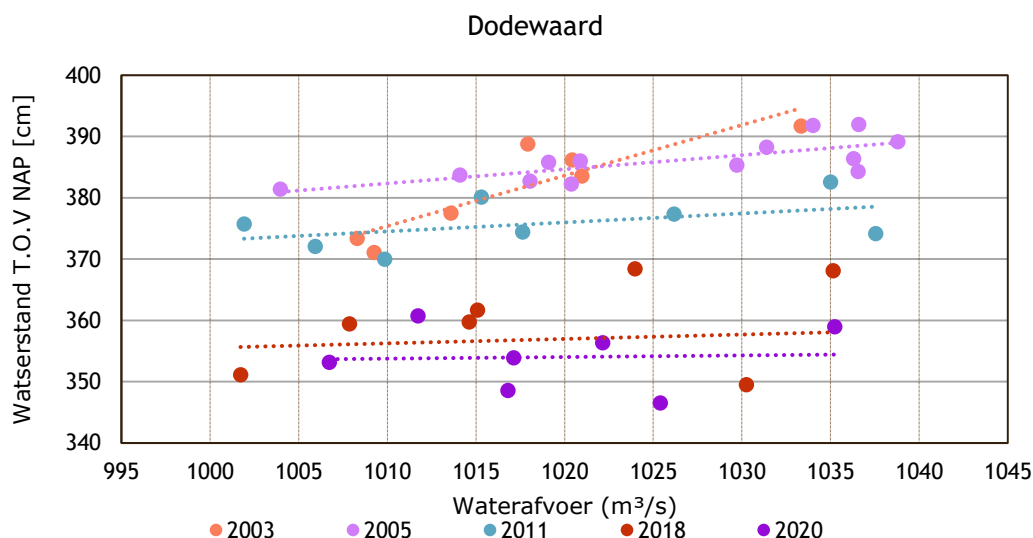
Figuur 34: Impressie van bodemdaling op de Waal tussen Nijmegen en de Duitse grens (bron: waterinfo.rws.nl)



Het beeld dat bij Nijmegen Haven geschetst wordt, herkennen we ook bij Dodewaard. Tijdens de laagwaterperiodes in 2003 en 2005 bedroeg de waterstand ten opzichte van NAP ongeveer 380 a 390 cm. In 2018 en 2020 werd bij deze afvoeren een gemiddelde waterstand van ongeveer 355 cm boven NAP bereikt. Ook hier is de rivierbodem dus 30 cm gedaald; met een gemiddeld tempo van ongeveer 2 cm/jaar.



Figuur 35: Impressie van bodemdaling op de Waal tussen Tiel en Nijmegen (bron: waterinfo.rws.nl)



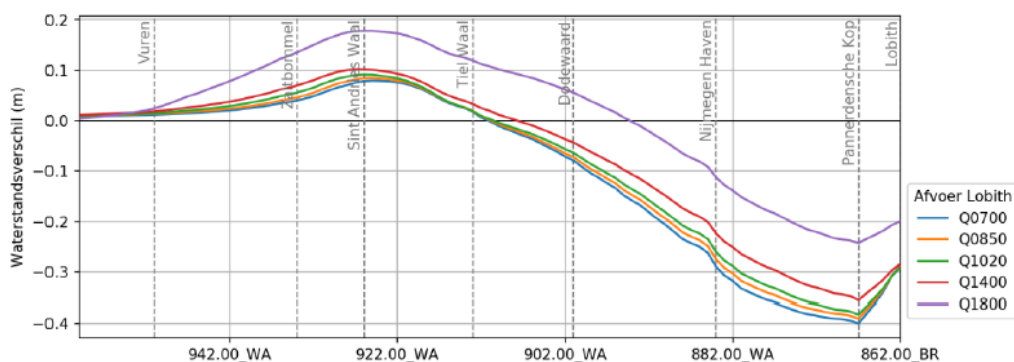
Verwachting naar de toekomst

Door bodemerrosie en aanzanding ontstaan knelpunten met betrekking tot vaardiepten op de Boven-Rijn, de Waal, het Pannerdensch Kanaal, de Nederrijn (tot Driel) en de IJssel. De gronddekking van kabels en leidingen neemt af en er ontstaan problemen met drempels van sluizen, stabiliteit van kades, kribben en brugpijlers. Bovendien bevinden zich op diverse plekken in de Waal harde lagen op de bodem, die niet mee eroderen en op termijn drempels in de rivierbodembodem vormen. Daardoor kan tijdens laagwaterperiodes de streefdiepte (1020 m³/s afvoer bij Lobith betekent 2,80 vaargeuldiepte voor de gehele Waal) steeds vaker niet gehaald worden. Schepen krijgen te maken met diepgangsbeperkingen.

Bij ongewijzigd rivierbodembeleid zal de trend met betrekking tot bodemerrosie doorzetten tot en met 2120. Dit betekent een verdere daling van de rivierbodembodem, terwijl harde lagen in bochten en ter bescherming (gronddekking) van kabels en leidingen blijven bestaan. Echter, door het feit dat de Waal zich sneller inslijt zal de rivier ten opzichte van de Geldersche IJssel meer water naar zich toetrekken. Combineren we deze effecten (dalende bodem, beperkt meer afvoer), dan resulteert een maximale waterstandsverlaging van 40 cm ter hoogte van de Pannerdensch Kop en 0 tot 30 centimeter tussen Tiel en Nijmegen.

Onderstaande figuur toont de verwachte verlaging van de waterstand op de Waal tot 2050.

Figuur 36: Verwachte waterstandsverlaging op de Waal tot 2050 (bron: Witteveen+Bos, 2021)



Autonoom effect naar 2050 toe.

Voor deze studie is de bodemdaling op het traject Tiel-Waal tot (twee kilometer westelijk van) Nijmegen Haven relevant. Schepen die op deze route de relatie onderhouden tussen (Noord)West-Nederland en Limburg, kunnen de alternatieve route via de oost-westtak van de Maas nemen. Schepen die tussen Nijmegen Haven en Lobith varen, kunnen geen alternatieve route vinden. Uit de grafiek blijkt dat de bodem van de Waal tot en met 2050 nog eens 30 centimeter dieper komt te liggen. Doordat dit niet geldt voor de harde lagen, betekent dit dat dat bij een OLA van 1020 m³/s, geen 2,80 meter vaargeuldiepte geboden kan worden (conform afspraak), geen 2,40 meter à 2,50 meter (praktijk MGD nu), maar nog slechts 2,10 meter à 2,20 meter.



Bijlage 2 Correctiefactoren voor toekomstige afvoeren

Factoren WHdry 2050

Dag\Maand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.86	1.02	1.16	1.15	1.04	0.98	0.98	0.94	0.85	0.78	0.73	0.75
2	0.87	1.03	1.17	1.15	1.03	0.98	0.97	0.94	0.84	0.77	0.73	0.75
3	0.88	1.04	1.18	1.14	1.02	0.99	0.97	0.94	0.83	0.76	0.73	0.76
4	0.89	1.05	1.19	1.14	1.01	0.99	0.97	0.94	0.82	0.75	0.73	0.76
5	0.90	1.06	1.19	1.14	1	0.99	0.97	0.93	0.82	0.75	0.73	0.76
6	0.91	1.07	1.19	1.14	0.99	0.99	0.97	0.93	0.82	0.75	0.73	0.77
7	0.92	1.08	1.19	1.13	0.98	0.99	0.97	0.92	0.82	0.75	0.73	0.78
8	0.93	1.09	1.19	1.13	0.97	0.99	0.97	0.92	0.82	0.75	0.73	0.78
9	0.93	1.10	1.19	1.13	0.97	0.99	0.97	0.91	0.82	0.75	0.73	0.78
10	0.93	1.11	1.19	1.12	0.96	0.99	0.97	0.91	0.82	0.75	0.73	0.78
11	0.93	1.11	1.2	1.12	0.96	0.99	0.97	0.91	0.82	0.75	0.73	0.78
12	0.93	1.11	1.2	1.12	0.96	0.99	0.97	0.91	0.82	0.75	0.73	0.78
13	0.93	1.11	1.21	1.12	0.95	1	0.97	0.91	0.82	0.75	0.73	0.78
14	0.93	1.11	1.22	1.12	0.94	1.01	0.97	0.91	0.82	0.75	0.73	0.78
15	0.93	1.11	1.23	1.12	0.94	1.02	0.97	0.91	0.82	0.75	0.73	0.78
16	0.93	1.11	1.24	1.12	0.93	1.02	0.97	0.91	0.82	0.75	0.73	0.78
17	0.93	1.11	1.23	1.12	0.94	1.01	0.97	0.91	0.82	0.75	0.73	0.78
18	0.93	1.12	1.22	1.12	0.94	1	0.97	0.91	0.82	0.75	0.73	0.78
19	0.93	1.12	1.21	1.12	0.95	0.99	0.97	0.91	0.82	0.75	0.73	0.78
20	0.93	1.12	1.2	1.12	0.95	0.99	0.97	0.91	0.82	0.75	0.73	0.78
21	0.93	1.13	1.2	1.12	0.96	0.99	0.97	0.91	0.82	0.75	0.73	0.78
22	0.93	1.13	1.19	1.12	0.96	0.99	0.97	0.91	0.82	0.75	0.73	0.78
23	0.94	1.14	1.19	1.12	0.96	0.99	0.97	0.91	0.82	0.75	0.74	0.78
24	0.95	1.14	1.19	1.11	0.96	0.99	0.97	0.91	0.82	0.75	0.74	0.78
25	0.96	1.15	1.19	1.1	0.96	0.99	0.97	0.91	0.82	0.75	0.74	0.79
26	0.97	1.15	1.19	1.09	0.96	0.99	0.96	0.91	0.82	0.75	0.74	0.8
27	0.98	1.16	1.19	1.08	0.97	0.99	0.96	0.91	0.81	0.75	0.75	0.81
28	0.99	1.16	1.19	1.07	0.97	0.99	0.95	0.9	0.81	0.74	0.75	0.82
29	0.99	1.16	1.18	1.06	0.97	0.98	0.95	0.89	0.8	0.74	0.75	0.83
30	1		1.17	1.05	0.97	0.98	0.94	0.88	0.79	0.74	0.75	0.84
31	1.01		1.16		0.98		0.94	0.87		0.73		0.85



Factoren WHdry 2120

Dag\Maand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.86	1.02	1.24	1.31	1.24	1.14	1.04	0.98	0.87	0.6	0.49	0.57
2	0.87	1.03	1.25	1.29	1.23	1.14	1.05	0.98	0.88	0.59	0.47	0.57
3	0.88	1.04	1.26	1.3	1.22	1.13	1.05	0.96	0.87	0.58	0.45	0.58
4	0.89	1.05	1.27	1.3	1.21	1.13	1.05	0.96	0.88	0.57	0.45	0.58
5	0.9	1.06	1.29	1.28	1.2	1.13	1.03	0.97	0.86	0.55	0.45	0.6
6	0.91	1.07	1.31	1.28	1.19	1.13	1.03	0.97	0.86	0.55	0.45	0.59
7	0.92	1.08	1.33	1.29	1.18	1.13	1.03	0.98	0.84	0.55	0.45	0.6
8	0.93	1.09	1.35	1.29	1.19	1.13	1.01	0.98	0.82	0.55	0.45	0.6
9	0.93	1.1	1.37	1.29	1.19	1.13	1.01	0.99	0.82	0.55	0.45	0.62
10	0.93	1.11	1.39	1.3	1.2	1.13	1.01	0.99	0.8	0.53	0.45	0.62
11	0.93	1.11	1.4	1.3	1.2	1.13	1.01	0.99	0.8	0.53	0.45	0.64
12	0.93	1.11	1.42	1.3	1.2	1.13	1.01	0.99	0.78	0.53	0.45	0.64
13	0.93	1.11	1.43	1.3	1.21	1.12	1.01	0.99	0.78	0.53	0.43	0.66
14	0.93	1.11	1.44	1.3	1.2	1.11	1.01	0.99	0.76	0.53	0.43	0.66
15	0.93	1.13	1.45	1.3	1.2	1.1	1.01	0.99	0.76	0.53	0.41	0.66
16	0.93	1.13	1.46	1.3	1.21	1.1	1.01	0.99	0.76	0.53	0.39	0.66
17	0.93	1.13	1.45	1.28	1.2	1.11	1.01	0.99	0.76	0.53	0.41	0.66
18	0.93	1.14	1.44	1.28	1.2	1.12	1.01	0.99	0.76	0.53	0.43	0.66
19	0.93	1.14	1.43	1.28	1.19	1.13	1.01	0.99	0.76	0.53	0.45	0.66
20	0.93	1.14	1.42	1.28	1.19	1.13	1.01	0.99	0.76	0.53	0.45	0.66
21	0.93	1.13	1.4	1.28	1.18	1.13	1.01	0.99	0.76	0.53	0.45	0.66
22	0.93	1.15	1.39	1.28	1.18	1.13	1.01	0.99	0.74	0.53	0.45	0.68
23	0.92	1.16	1.37	1.28	1.18	1.11	1.01	0.99	0.72	0.53	0.44	0.7
24	0.93	1.18	1.37	1.29	1.18	1.11	1.01	0.97	0.7	0.53	0.44	0.72
25	0.94	1.19	1.35	1.28	1.18	1.11	1.01	0.95	0.68	0.53	0.46	0.73
26	0.95	1.19	1.35	1.27	1.18	1.11	1.02	0.93	0.66	0.53	0.48	0.74
27	0.96	1.2	1.35	1.26	1.15	1.11	1.02	0.91	0.65	0.53	0.49	0.75
28	0.97	1.22	1.33	1.25	1.15	1.09	1.01	0.9	0.63	0.54	0.51	0.76
29	0.99	1.24	1.32	1.24	1.15	1.08	0.99	0.89	0.62	0.54	0.53	0.77
30	1		1.31	1.23	1.15	1.06	0.98	0.88	0.61	0.52	0.55	0.78
31	1.01		1.3		1.14		0.98	0.87		0.51		0.79



Factoren GL 2050

Dag\Maand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.19	1.27	1.19	1.14	1.14	1.14	1.09	1.07	1.02	1.01	1.03	1.11
2	1.20	1.27	1.18	1.14	1.14	1.14	1.09	1.06	1.01	1.01	1.03	1.12
3	1.21	1.27	1.17	1.14	1.14	1.14	1.09	1.06	1.01	1.01	1.03	1.13
4	1.22	1.27	1.16	1.14	1.14	1.14	1.09	1.05	1.01	1.01	1.03	1.14
5	1.23	1.28	1.15	1.14	1.14	1.14	1.09	1.05	1.01	1.01	1.03	1.15
6	1.24	1.28	1.14	1.14	1.14	1.14	1.09	1.05	1.01	1.01	1.03	1.16
7	1.25	1.29	1.13	1.14	1.14	1.14	1.09	1.05	1.01	1.01	1.03	1.16
8	1.25	1.29	1.12	1.14	1.14	1.14	1.09	1.05	1.01	1.01	1.03	1.16
9	1.25	1.29	1.12	1.14	1.14	1.14	1.09	1.05	1.01	1.01	1.03	1.16
10	1.25	1.29	1.12	1.14	1.14	1.14	1.09	1.05	1.01	1.01	1.03	1.16
11	1.25	1.29	1.11	1.14	1.14	1.14	1.09	1.05	1.01	1.01	1.04	1.16
12	1.25	1.30	1.11	1.14	1.15	1.14	1.1	1.05	1.01	1.01	1.04	1.16
13	1.25	1.31	1.11	1.15	1.16	1.15	1.11	1.05	1.01	1.01	1.04	1.16
14	1.25	1.32	1.1	1.16	1.17	1.16	1.12	1.06	1.01	1.01	1.04	1.16
15	1.25	1.33	1.1	1.17	1.17	1.17	1.12	1.07	1	1.01	1.04	1.16
16	1.25	1.32	1.09	1.18	1.18	1.18	1.13	1.08	1	1.01	1.04	1.16
17	1.25	1.31	1.1	1.17	1.17	1.17	1.12	1.07	1	1.01	1.04	1.16
18	1.25	1.30	1.1	1.16	1.16	1.16	1.11	1.06	1	1.01	1.04	1.16
19	1.25	1.29	1.11	1.15	1.15	1.15	1.1	1.05	1.01	1.01	1.04	1.17
20	1.25	1.28	1.11	1.14	1.14	1.14	1.09	1.05	1.01	1.01	1.04	1.17
21	1.25	1.27	1.12	1.14	1.14	1.14	1.09	1.05	1.01	1.01	1.04	1.17
22	1.25	1.27	1.12	1.14	1.14	1.14	1.09	1.05	1.01	1.01	1.04	1.17
23	1.26	1.26	1.12	1.14	1.14	1.14	1.09	1.05	1.01	1.02	1.04	1.18
24	1.26	1.25	1.12	1.14	1.14	1.14	1.09	1.05	1.01	1.02	1.04	1.18
25	1.27	1.24	1.12	1.14	1.14	1.14	1.09	1.05	1.01	1.02	1.05	1.19
26	1.27	1.23	1.12	1.14	1.14	1.14	1.09	1.05	1.01	1.02	1.06	1.19
27	1.27	1.22	1.12	1.14	1.14	1.13	1.09	1.05	1.01	1.03	1.07	1.19
28	1.27	1.21	1.12	1.14	1.14	1.13	1.09	1.05	1.01	1.03	1.08	1.2
29	1.27	1.2	1.12	1.14	1.14	1.12	1.09	1.05	1.01	1.03	1.09	1.2
30	1.27		1.13	1.14	1.14	1.11	1.08	1.04	1.01	1.03	1.1	1.2
31	1.27		1.13		1.14		1.07	1.03		1.03		1.2



Factoren GL 2120

Dag\Maand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1.09	1.13	1.17	1.24	1.22	1.1	1.21	1.27	1.16	1.05	0.99	1.01
2	1.08	1.15	1.16	1.26	1.2	1.1	1.23	1.28	1.15	1.05	0.99	1.02
3	1.07	1.17	1.15	1.28	1.18	1.1	1.25	1.28	1.15	1.05	0.99	1.03
4	1.06	1.19	1.14	1.3	1.16	1.1	1.27	1.29	1.13	1.05	0.99	1.04
5	1.05	1.18	1.13	1.3	1.14	1.1	1.27	1.29	1.13	1.05	0.99	1.05
6	1.04	1.18	1.12	1.3	1.12	1.1	1.27	1.29	1.11	1.05	0.99	1.06
7	1.03	1.17	1.13	1.3	1.12	1.1	1.27	1.29	1.11	1.05	0.99	1.08
8	1.03	1.17	1.14	1.3	1.12	1.1	1.27	1.29	1.09	1.03	0.99	1.1
9	1.03	1.17	1.14	1.3	1.12	1.1	1.27	1.29	1.09	1.03	0.99	1.1
10	1.03	1.17	1.14	1.3	1.12	1.1	1.27	1.29	1.09	1.03	0.99	1.1
11	1.03	1.17	1.15	1.3	1.12	1.1	1.27	1.27	1.09	1.03	0.98	1.1
12	1.03	1.18	1.15	1.32	1.11	1.1	1.26	1.27	1.09	1.03	0.98	1.1
13	1.03	1.19	1.15	1.33	1.1	1.09	1.25	1.27	1.09	1.03	0.98	1.1
14	1.03	1.18	1.16	1.34	1.09	1.08	1.24	1.26	1.09	1.03	0.98	1.1
15	1.03	1.19	1.16	1.35	1.09	1.07	1.26	1.25	1.1	1.03	0.98	1.1
16	1.03	1.22	1.17	1.34	1.08	1.06	1.27	1.24	1.1	1.03	0.98	1.1
17	1.03	1.21	1.16	1.33	1.09	1.07	1.26	1.25	1.1	1.03	0.98	1.1
18	1.03	1.20	1.16	1.32	1.1	1.08	1.25	1.26	1.1	1.03	0.98	1.1
19	1.03	1.21	1.15	1.31	1.11	1.11	1.26	1.27	1.09	1.03	0.98	1.09
20	1.03	1.20	1.15	1.32	1.12	1.12	1.27	1.27	1.09	1.03	0.98	1.09
21	1.03	1.21	1.14	1.3	1.12	1.12	1.27	1.27	1.09	1.03	0.98	1.09
22	1.05	1.19	1.14	1.3	1.12	1.12	1.27	1.27	1.09	1.03	0.98	1.09
23	1.04	1.20	1.14	1.3	1.12	1.14	1.27	1.27	1.09	1.02	0.98	1.08
24	1.04	1.21	1.14	1.3	1.12	1.14	1.27	1.27	1.09	1.02	0.98	1.08
25	1.05	1.2	1.14	1.3	1.12	1.14	1.27	1.27	1.09	1.02	0.99	1.07
26	1.05	1.19	1.14	1.3	1.12	1.14	1.27	1.25	1.09	1.02	0.98	1.07
27	1.07	1.18	1.16	1.3	1.12	1.15	1.27	1.23	1.09	1.01	0.99	1.07
28	1.07	1.17	1.18	1.28	1.12	1.17	1.27	1.21	1.09	1.01	0.98	1.08
29	1.09	1.16	1.2	1.26	1.1	1.18	1.27	1.19	1.07	1.01	0.99	1.08
30	1.09		1.21	1.24	1.1	1.19	1.28	1.18	1.05	1.01	1	1.08
31	1.11		1.23		1.1		1.29	1.17		0.99		1.08



Overzicht sluisberekeningen

Kalibratie op basis van jaar 2018

Allereerst is het jaar 2018 gesimuleerd met behulp van SIVAK. Dit jaar is doorgerekend om te toetsen of het model in de huidige configuratie goed kan omgaan met de hoeveelheid scheepvaartverkeer in een laag-waterjaar. Dit jaar is gesimuleerd door de vloot uit 2019 te nemen voor Grave (regulier verkeer) en op basis van de gegevens uit paragraaf 4.2.1 een deel van de *beladen* Weurt vloot te laten omvaren. Op deze manier simuleren we de situatie in het jaar 2018. De simulatie toont een gemiddelde wachttijd bij sluis Grave van 53,4 minuten, daar waar in de praktijk een gemiddelde wachttijd van 53,7 minuten geregistreerd werd. Daarmee wordt de validiteit van het in de IMA gebruikte sluissimulatiemodel **ook** aangetoond tijdens laagwatersituaties.

Basisjaar 2019

Daarnaast is een 'fictief' basisjaar 2019 doorgerekend. Hierbij worden de 2019 beroepsvaart en recreatievaart bij Grave en Weurt gebruikt, en de historische waterjaren 1960 t/m 2020 – ingedeeld conform de tabel in paragraaf 5.1.1. Ieder waterjaar uit de 22 geselecteerde scenario's heeft hierbij een kans van optreden. Dit fictieve basisjaar voor de berekeningen laat de volgende gemiddelde wachttijden per scenario zien:

Tabel 18: Rekenresultaten sluis Grave in 2019 voor verschillende waterscenario's (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	17.070	32	18
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	19.919	45	30
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	18.327	38	24
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	19.960	42	28
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	22.196	55	40
6	Nauwelijks laagwater	17.622	35	21
7	Nauwelijks laagwater	17.173	33	18
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	20.285	48	33
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	21.358	53	38
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	21.303	50	35
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	18.921	39	24
12	Beperkt laagwater	17.499	34	19
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	22.778	60	45
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	19.293	44	29
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	18.737	39	25
16	Langdurig laagwater in het najaar	19.390	45	31
17	Langdurig beperkt laagwater	20.424	46	31
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	21.226	53	38
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	20.547	49	35
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	21.830	59	44
21	Kortstondig laagwater in het najaar	18.514	39	24
22	Nauwelijks laagwater	18.327	38	24
	Gemiddeld	18.941	41	26

Uit de tabel kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Er is op basis van de gemiddelde wachttijden in 2019 niet direct aanleiding om sluis Grave als een knelpunt te zien. De gemiddelde wachttijd blijft onder de SVIR-norm van 30 minuten wachttijd.
- Wel zijn er een aantal scenario's waarin de wachttijden behoorlijk oplopen en over een jaar gezien ruim boven het half uur uitkomen.



2050 WLO Hoog, WHdry met een bodemerosie bodemscenario

Situatie met één sluiskolk

Tabel 19: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2050 Hoog, WHdry met een bodemerosie rivierbodembeleid met een sluiskolk (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	15.759	43	28
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	20.807	351	335
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	21.960	1.292	1.277
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	20.873	214	199
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	24.881	904	888
6	Nauwelijks laagwater	16.733	103	88
7	Nauwelijks laagwater	15.942	46	31
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	21.469	603	588
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	23.366	1.238	1.233
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	23.282	708	693
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	19.047	122	107
12	Beperkt laagwater	16.524	51	36
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	25.928	1.004	988
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	19.714	434	419
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	18.723	146	131
16	Langdurig laagwater in het najaar	19.886	557	542
17	Langdurig beperkt laagwater	21.710	301	286
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	23.133	687	672
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	21.952	416	401
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	24.223	1.763	1.748
21	Kortstondig laagwater in het najaar	18.315	180	165
22	Nauwelijks laagwater	17.985	145	130
	Gemiddeld	19.146	334	319

Situatie met een extra sluiskolk

Tabel 20: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2050 Hoog, WHdry met een bodemerosie rivierbodembeleid met twee sluiskolken (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	15.759	23	8
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	20.808	27	12
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	21.959	30	16
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	20.883	26	11
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	24.876	31	15
6	Nauwelijks laagwater	16.731	24	9
7	Nauwelijks laagwater	15.945	23	8
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	21.472	28	13
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	23.376	30	15
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	23.281	28	14
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	19.052	25	10
12	Beperkt laagwater	16.523	23	8
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	25.928	32	16
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	19.709	27	12
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	18.719	25	10
16	Langdurig laagwater in het najaar	19.888	28	13
17	Langdurig beperkt laagwater	21.706	27	13
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	23.138	30	15
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	21.952	29	14
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	24.228	32	17
21	Kortstondig laagwater in het najaar	18.311	25	11
22	Nauwelijks laagwater	17.987	25	10
	Gemiddeld	19.146	26	11



2050 WLO Laag, WHdry met een bodemerosie bodemscenario

Situatie met één sluiskolk

Tabel 21: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2050 Laag, WHdry met een bodemerosie rivierbodembeleid met een sluiskolk (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	12.768	36	22
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	16.947	116	101
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	17.984	198	183
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	17.005	100	85
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	20.317	184	168
6	Nauwelijks laagwater	13.572	59	44
7	Nauwelijks laagwater	12.926	37	23
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	17.496	152	137
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	19.078	197	182
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	18.996	153	138
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	15.483	68	54
12	Beperkt laagwater	13.406	41	26
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	21.186	209	194
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	16.040	144	129
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	15.219	74	59
16	Langdurig laagwater in het najaar	16.183	141	126
17	Langdurig beperkt laagwater	17.700	126	111
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	18.895	189	174
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	17.892	156	141
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	19.776	244	228
21	Kortstondig laagwater in het najaar	14.860	75	60
22	Nauwelijks laagwater	14.609	72	57
	Gemiddeld	15.574	100	85

Situatie met een extra sluiskolk

Tabel 22: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2050 Laag, WHdry met een bodemerosie rivierbodembeleid met twee sluiskolken (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	12.772	22	7
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	16.932	25	10
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	17.983	27	12
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	17.006	24	10
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	20.317	27	12
6	Nauwelijks laagwater	13.570	23	8
7	Nauwelijks laagwater	12.926	22	8
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	17.496	26	11
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	19.081	27	12
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	18.896	26	11
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	15.483	24	9
12	Beperkt laagwater	13.406	22	8
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	21.192	28	13
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	16.041	25	10
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	15.219	24	9
16	Langdurig laagwater in het najaar	16.185	25	11
17	Langdurig beperkt laagwater	17.696	25	10
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	18.888	27	12
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	17.894	26	11
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	19.777	28	13
21	Kortstondig laagwater in het najaar	14.861	24	9
22	Nauwelijks laagwater	14.608	23	9
	Gemiddeld	15.571	24	9



2120 WLO Laag, WHdry met een bodemerosie bodemscenario

Situatie met één sluiskolk

Tabel 23: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2120 Laag, WHdry met een bodemerosie rivierbodembeleid met een sluiskolk (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	13.037	45	31
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	18.747	267	252
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	18.506	287	272
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	19.374	194	179
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	21.901	272	257
6	Nauwelijks laagwater	15.500	150	135
7	Nauwelijks laagwater	14.941	118	103
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	18.727	245	230
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	19.774	274	259
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	19.351	234	219
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	17.298	173	158
12	Beperkt laagwater	15.956	129	114
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	20.982	325	309
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	17.454	242	227
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	16.346	166	151
16	Langdurig laagwater in het najaar	17.690	230	215
17	Langdurig beperkt laagwater	19.124	262	247
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	20.112	332	317
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	18.075	246	231
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	20.428	343	328
21	Kortstondig laagwater in het najaar	16.558	209	194
22	Nauwelijks laagwater	17.052	206	191
	Gemiddeld	17.211	202	187

Situatie met een extra sluiskolk

Tabel 24: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2120 Laag, WHdry met een bodemerosie rivierbodembeleid met twee sluiskolken (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	13.038	22	8
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	18.748	28	13
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	18.504	28	13
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	19.381	27	12
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	21.901	29	14
6	Nauwelijks laagwater	15.502	25	10
7	Nauwelijks laagwater	14.940	24	10
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	18.736	28	13
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	19.771	28	13
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	19.342	27	12
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	17.297	26	11
12	Beperkt laagwater	15.593	25	10
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	20.975	29	14
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	17.442	27	12
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	16.348	26	11
16	Langdurig laagwater in het najaar	17.683	27	12
17	Langdurig beperkt laagwater	19.128	28	13
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	20.119	28	13
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	18.074	27	12
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	20.430	29	14
21	Kortstondig laagwater in het najaar	16.555	26	11
22	Nauwelijks laagwater	17.052	26	11
	Gemiddeld	17.194	26	11



2050 WLO Hoog, GL met een bodemherstel bodemscenario

Situatie met één sluiskolk

Tabel 25: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2050 Hoog, WHdry met een bodemherstel rivierbodembeleid met een sluiskolk (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	14.985	37	22
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	15.384	39	24
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	19.484	725	710
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	16.028	44	29
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	17.533	59	44
6	Nauwelijks laagwater	14.985	37	22
7	Nauwelijks laagwater	14.985	37	22
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	16.109	45	30
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	17.181	88	73
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	17.226	66	51
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	14.991	36	22
12	Beperkt laagwater	14.988	37	22
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	17.765	61	46
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	15.413	39	25
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	15.091	37	22
16	Langdurig laagwater in het najaar	15.800	43	28
17	Langdurig beperkt laagwater	15.302	39	24
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	16.800	62	47
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	17.480	133	118
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	19.328	127	112
21	Kortstondig laagwater in het najaar	15.055	37	22
22	Nauwelijks laagwater	15.056	37	23
	Gemiddeld	15.628	56	41

Situatie met een extra sluiskolk

Tabel 26: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2050 Hoog, WHdry met een bodemherstel rivierbodembeleid met twee sluiskolken (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	14.985	22	8
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	15.382	22	8
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	17.238	23	9
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	16.028	22	8
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	17.532	24	9
6	Nauwelijks laagwater	14.985	22	8
7	Nauwelijks laagwater	14.985	22	8
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	16.110	22	8
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	17.184	24	9
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	17.229	23	9
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	14.992	22	8
12	Beperkt laagwater	14.986	22	8
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	17.767	24	9
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	15.415	22	8
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	15.087	22	8
16	Langdurig laagwater in het najaar	15.801	22	8
17	Langdurig beperkt laagwater	15.302	22	8
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	16.799	23	9
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	16.230	23	8
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	19.327	25	10
21	Kortstondig laagwater in het najaar	15.055	22	8
22	Nauwelijks laagwater	15.054	22	8
	Gemiddeld	15.571	22	8



2050 WLO Laag, GL met een bodemherstel bodemscenario

Situatie met één sluiskolk

Tabel 27: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2050 Laag, WHdry met een bodemherstel rivierbodembeleid met een sluiskolk (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	12.138	33	18
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	12.461	34	19
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	13.991	46	32
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	12.990	36	22
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	14.237	45	31
6	Nauwelijks laagwater	12.135	33	18
7	Nauwelijks laagwater	12.135	33	18
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	13.060	37	23
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	13.945	58	44
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	13.982	47	32
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	12.138	33	18
12	Beperkt laagwater	12.135	33	18
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	14.435	48	33
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	12.482	34	20
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	12.221	33	18
16	Langdurig laagwater in het najaar	12.800	36	22
17	Langdurig beperkt laagwater	12.392	34	19
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	13.626	47	32
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	13.161	39	25
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	15.717	71	56
21	Kortstondig laagwater in het najaar	12.189	33	18
22	Nauwelijks laagwater	12.192	33	18
	Gemiddeld	12.617	36	22

Situatie met een extra sluiskolk

Tabel 28: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2050 Laag, WHdry met een bodemherstel rivierbodembeleid met twee sluiskolken (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	12.135	22	7
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	12.460	22	7
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	13.992	23	8
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	12.990	22	8
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	14.236	23	8
6	Nauwelijks laagwater	12.135	22	7
7	Nauwelijks laagwater	12.135	22	7
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	13.059	22	8
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	13.944	23	8
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	13.980	23	8
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	12.138	22	7
12	Beperkt laagwater	12.135	22	7
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	14.431	23	8
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	12.482	22	7
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	12.221	22	7
16	Langdurig laagwater in het najaar	12.800	22	7
17	Langdurig beperkt laagwater	12.392	22	7
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	13.625	23	8
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	13.161	22	8
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	15.721	24	9
21	Kortstondig laagwater in het najaar	12.189	22	7
22	Nauwelijks laagwater	12.192	22	7
	Gemiddeld	12.616	22	7



2120 WLO Hoog, GL met een bodemherstel bodemscenario

Situatie met één sluiskolk

Tabel 29: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2120 Hoog, WHdry met een bodemherstel rivierbodembeleid met een sluiskolk (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	14.995	37	22
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	15.573	40	25
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	17.531	101	86
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	16.672	60	45
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	17.028	50	35
6	Nauwelijks laagwater	15.020	37	22
7	Nauwelijks laagwater	14.985	37	22
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	16.004	45	30
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	17.136	97	82
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	17.606	59	44
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	15.415	39	24
12	Beperkt laagwater	14.985	39	24
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	17.063	51	36
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	15.653	41	27
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	15.041	37	22
16	Langdurig laagwater in het najaar	15.632	41	26
17	Langdurig beperkt laagwater	15.258	38	23
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	16.222	47	32
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	16.508	58	43
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	18.618	136	121
21	Kortstondig laagwater in het najaar	15.146	37	22
22	Nauwelijks laagwater	14.985	37	22
	Gemiddeld	15.549	44	29

Situatie met een extra sluiskolk

Tabel 30: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2120 Hoog, WHdry met een bodemherstel rivierbodembeleid met een sluiskolk (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	14.995	22	8
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	15.567	22	8
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	17.532	24	10
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	16.672	23	8
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	17.029	23	8
6	Nauwelijks laagwater	15.020	22	8
7	Nauwelijks laagwater	14.985	22	8
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	16.004	23	8
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	17.137	24	9
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	17.606	23	9
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	15.418	22	8
12	Beperkt laagwater	14.985	22	8
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	17.065	23	8
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	15.561	22	8
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	15.041	22	8
16	Langdurig laagwater in het najaar	15.633	22	8
17	Langdurig beperkt laagwater	15.260	22	8
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	16.217	23	8
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	16.508	23	8
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	18.621	25	10
21	Kortstondig laagwater in het najaar	15.146	22	8
22	Nauwelijks laagwater	14.985	22	8
	Gemiddeld	15.546	22	8



2120 WLO Laag, GL met een bodemherstel bodemscenario

Situatie met één sluiskolk

Tabel 31: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2120 Laag, WHdry met een bodemherstel rivierbodembeleid met een sluiskolk (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	12.139	32	18
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	12.619	34	20
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	14.238	62	47
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	13.521	43	28
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	13.820	41	26
6	Nauwelijks laagwater	12.158	33	18
7	Nauwelijks laagwater	12.135	33	18
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	12.971	38	24
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	13.905	67	52
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	14.296	45	30
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	12.483	34	19
12	Beperkt laagwater	12.135	33	18
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	13.852	42	27
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	12.678	36	21
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	12.176	33	18
16	Langdurig laagwater in het najaar	12.664	35	21
17	Langdurig beperkt laagwater	12.363	34	19
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	13.149	39	24
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	13.388	42	27
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	15.139	75	60
21	Kortstondig laagwater in het najaar	12.265	33	18
22	Nauwelijks laagwater	12.135	33	18
	Gemiddeld	12.598	36	22

Situatie met een extra sluiskolk

Tabel 32: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2120 Laag, WHdry met een bodemherstel rivierbodembeleid met twee sluiskolken

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	12.139	22	7
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	12.619	22	7
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	14.235	23	8
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	13.522	22	8
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	13.820	22	8
6	Nauwelijks laagwater	12.159	22	7
7	Nauwelijks laagwater	12.135	22	7
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	12.970	22	8
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	13.906	23	8
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	14.296	23	8
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	12.483	22	7
12	Beperkt laagwater	12.135	22	7
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	13.851	22	8
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	12.678	22	7
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	12.177	22	7
16	Langdurig laagwater in het najaar	12.662	22	7
17	Langdurig beperkt laagwater	12.363	22	7
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	13.150	22	8
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	13.389	22	8
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	15.138	24	9
21	Kortstondig laagwater in het najaar	12.265	22	7
22	Nauwelijks laagwater	12.135	22	7
	Gemiddeld	12.598	22	7



2120 WLO Hoog, WHdry met een bodemerosie bodemscenario

Situatie met één sluiskolk

Tabel 33: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2120 Hoog, WHdry met een bodemerosie rivierbodembeleid met een sluiskolk (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	16.081	60	45
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	22.973	1.876	1.861
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	22.681	2.107	2.092
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	23.738	657	642
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	26.779	2.109	2.094
6	Nauwelijks laagwater	19.060	675	660
7	Nauwelijks laagwater	18.383	351	336
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	22.954	1.994	1.979
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	24.189	2.109	2.093
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	23.698	1.479	1.464
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	21.232	719	704
12	Beperkt laagwater	19.612	366	351
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	25.668	2.534	2.518
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	21.404	1.534	1.519
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	20.086	931	916
16	Langdurig laagwater in het najaar	21.699	2.020	2.005
17	Langdurig beperkt laagwater	23.420	1.846	1.831
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	24.619	2.554	2.539
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	22.178	1.602	1.587
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	25.004	2.659	2.643
21	Kortstondig laagwater in het najaar	20.332	1.105	1.090
22	Nauwelijks laagwater	20.937	1.198	1.183
	Gemiddeld	21.123	1.246	1.231

Situatie met een extra sluiskolk

Tabel 34: Rekenresultaten voor sluis Grave in het scenario 2120 Hoog, WHdry met een bodemerosie rivierbodembeleid met twee sluiskolken (waarden in minuten)

#	Omschrijving	Schepen	Passeertijd	Wachttijd
1	Nauwelijks laagwater	16.083	23	8
2	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	22.976	32	17
3	Extreem lang en hevig laagwater in het najaar	22.686	33	18
4	Extreem laagwater in het voorjaar (ijs)	23.738	30	15
5	Extreem lang en hevig laagwater in het jaar	26.779	34	18
6	Nauwelijks laagwater	19.059	27	13
7	Nauwelijks laagwater	18.385	26	12
8	Kortstondig maar hevig laagwater in het najaar	22.957	32	17
9	Verspreide laagwaterperiodes door het gehele jaar. langdurig en hevig laagwater in het najaar	24.208	32	17
10	Langdurig hevig laagwater in zowel voor- als najaar	23.697	31	16
11	Kortstondig laagwater in voor- en najaar.	21.233	28	14
12	Beperkt laagwater	19.613	27	13
13	Beperkt laagwater in het voorjaar. langdurig hevig laagwater in het najaar	25.653	34	18
14	Kortstondig laagwater in voor- en najaar	21.398	31	16
15	Diverse kortstondige laagwaterperiodes	20.086	28	14
16	Langdurig laagwater in het najaar	21.699	31	16
17	Langdurig beperkt laagwater	23.429	31	16
18	Langdurig en hevig laagwater in het najaar	24.615	34	19
19	Langdurig en hevig laagwater in voor- en najaar	22.174	31	16
20	Extreem langdurig en hevig laagwater in najaar	24.999	34	19
21	Kortstondig laagwater in het najaar	20.340	29	14
22	Nauwelijks laagwater	20.937	30	15
	Gemiddeld	21.124	29	15



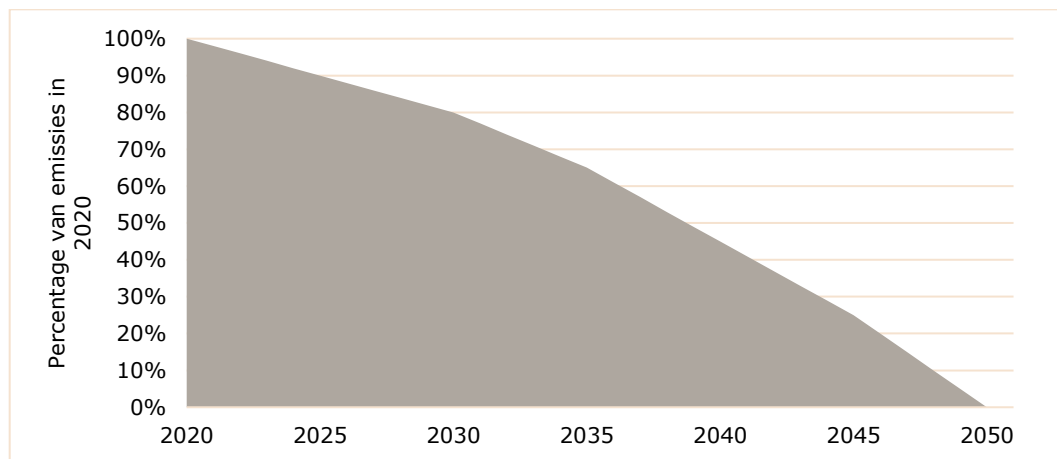
Werkwijze bij het berekenen van emissiebaten

In de binnenvaart vindt emissiereductie plaats. Dat komt door de introductie van schonere scheepsmotoren (Stage V i.p.v. CCNR 2), alternatieve aandrijfliijnen (diesel-elektrisch, batterij-elektrisch, waterstof) en alternatieve brandstoffen (HVO, GTL, LNG). De binnenvaart heeft zich daarnaast geconformeerd aan een aantal doelstellingen met betrekking tot de uitstoot van broeikasgassen en luchtvervuilende stoffen.

- de Declaration of Nijmegen. Hiermee verklaart de sector de komende jaren alles uit de kast te halen om sneller te vergroenen. Het doel is concurrerend blijven met weg- en spoorvervoer, en 20 procent minder CO₂-uitstoot in 2030.
- de Verklaring van Mannheim een nieuwe dimensie aan de Akte toegevoegd. We gaan schoner varen: 35% minder broeikasgassen en verontreiniging in 2035, volledig klimaatneutraal in 2050.

Deze uitgangspunten zijn verwerkt in een 'uitgroeipad' voor emissies. Dit ziet er als volgt uit, over de jaren:

Figuur 37: Emissiereductie binnenvaart – ontwikkelpad naar 2050 toe



Wij rapporteren over de volgende emissies:

- Koolstofdioxide (CO₂)
- Stikstofoxiden (NO_x)
- Fijnstof

De emissies van stilliggende schepen zijn berekend volgens de kentallen voor emissies van stilliggende schepen uit Prelude (TNO, 2018).



Bijlage 5 Toelichting op de MKBA

Reistijdbaten

Reistijdbaten ontstaan doordat schepen minder lang hoeven te wachten bij sluis Grave. Dat geldt zowel in de situatie met regulier verkeer, waarbij de wachttijden ordegrrootte 20 minuten bedragen, als in een situatie met (veel) omvarend verkeer als gevolg van laagwaterstanden op de Rijn.

Tabel 35: Overzicht van reistijdbaten per scenario (R=regulier, O=omvarend)

Jaar	Economie	Aantal schepen	Ø wachttijd (min)	90% Waarde	[min-max]	Totale wachttijd
2050	Laag	15.574 R: 12.135 O: 3.439	82	270	14-215	25.782
	Hoog	19.146 R: 14.985 O: 4.161	350	1.316	20-1.731	214.002
2120	Laag	17.211 R: 12.135 O: 5.076	181	641	23-315	61.590
	Hoog	21.123 R: 14.985 O: 6.138	1.285	4.852	37-2.624	525.155

Bovenstaande tabel toont de ontwikkeling van de gemiddelde (Ø) wachttijd, de betrouwbaarheidswaarde (gewogen gemiddelde over de scheepstypen), de minimale en maximale wachttijd per 'waterjaar' en het totale aantal voertuigverliesuren. Het volgende daaruit wordt zichtbaar:

- De **minimale wachttijd** per jaar varieert van 14 minuten (2050 WLO Laag) tot 37 minuten (2050 WLO Hoog). Deze wachttijd behoort toe aan het waterjaar 1960, een jaar zonder noemenswaardig laagwaterstanden. Zelfs als we dit jaar 'corrigeren' naar toekomstige afvoeren en daaruit de waterstanden op de Waal berekenen, blijkt de wachttijd acceptabel te blijven.
- Daarentegen neemt de **gemiddelde wachttijd** sterk toe.
 - Voor het jaar 2050 geldt in het lage scenario een gemiddelde wachttijd (over alle waterjaren gemiddeld) van 82 minuten; voor 2120 geldt een wachttijd van 181 minuten (3 uur).
 - Voor het hoge scenario geldt in 2050 al een gemiddelde wachttijd van 1.316 minuten (bijna 22 uur); in 2120 neemt dit toe naar 4.852 minuten (81 uur). Dit zijn gemiddelde over alle waterjaren; in enkele scenario's (bijvoorbeeld het toekomstig waterjaar 2018) kan dit nog veel extremer worden.

Deze extreme wachttijden zijn het gevolg van een enorme 'push' van schepen vanuit Weurt naar Grave ten tijde van lage waterstanden. Hierbij geldt dat de hoeveelheid schepen die bij Grave wordt aangeboden zo groot is, dat bij bepaalde waterstanden het aantal schepen dat gesluisd wordt de totale sluiscapaciteit overschrijdt. Er ontstaat gedurende deze periode een oneindige wachttijd die pas kan oplossen als de waterstanden op de Waal normaliseren.

Om reistijdbaten te kunnen berekenen moet gebruik gemaakt worden van de factorkosten. Deze zijn in 2017 bepaald door Panteia³⁷. Deze kosten zijn geïndexeerd naar het prijspeil van 2021 o.b.v. de jaarlijkse kostenstudies voor het CBRB. In MKBA's

³⁷ <https://www.rwseconomie.nl/kengetallen/kostentool-binnenvaart>



wordt echter gerekend met de Value of Time. Om van factorkosten naar Value of Time te komen moet gebruik gemaakt worden van trade-off ratio's (TR). De TR is de vermenigvuldigingsfactor om factorkosten om te kunnen rekenen naar reistijdwaarderingen. Op basis van het KiM (2013) kan voor de binnenvaart bij sluizen gerekend worden met een Trade-off ratio van 1,07. Hierbij is geen ingroei benodigd.

Op scheepsniveau gelden voor WLO hoog de volgende totale wachttijden per jaar, inclusief factorkosten (prijspeil 2021). Deze factorkosten dienen nog opgehoogd te worden met een factor 1,07.

Tabel 36: Overzicht van kosten en totale wachttijden per scheepstype (in uren) voor het Hoge scenario

Scheepsklasse	Kosten per uur	2019	2050	2120
M0 (overig)	€ 31.53	27	48	72
M1 (Spits) (CEMT I)	€ 31.55	31	96	170
M2 (Kempenaar) (CEMT II)	€ 36.02	573	1.065	1.863
M3 (Hagenaar) (CEMT III)	€ 39.42	1.263	4.108	7.581
M4 (Dortmund-Emskan) (CEMT III)	€ 43.38	832	11.485	27.208
M5 (Verlengde Dortmunder) (CEMT III)	€ 51.25	923	23.554	60.103
M6 (Rijn-Hernekan) (CEMT IV)	€ 69.46	1.422	36.806	92.362
M7 (Verlengd Rijn-Hernekan) (CEMT IV)	€ 91.87	254	14.675	36.253
M8 (Groot Rijnschip) (CEMT V)	€ 117.48	1.961	75.080	190.537
M9 (Verlengd Groot Rijnschip)	€ 125.43	259	8.791	21.152
M10 (Breed Groot Rijnschip)	€ 151.03	16	1.272	3.130
M11 (Verlengd Breed Groot Rijnschip)	€ 142.75	38	1.851	4.905
M12 (Rijnmax)	€ 192.26	63	6.857	14.244
C1b, koppilverband, 2 spitsen breed	€ 44.95	1	9	25
C1-l, koppilverband, 2 spitsen (lang) (I)	€ 44.95	7	27	36
C2b, koppilverband, IV + Eur I breed	€ 110.37	27	688	2.029
C3l, koppilverband, Va + Eur II lang	€ 132.45	11	6.607	13.382
BO1 duwstel	€ 43.15	3	1	2
BO2 duwstel	€ 47.60	2	35	51
BO3 duwstel	€ 50.21	39	29	51
BO4 duwstel	€ 52.40	241	627	1.684
BI-1 duwstel Europa I (IV)	€ 87.57	37	3.363	8.654
BII-1 duwstel Europa II (V)	€ 92.09	36	11.372	28.229
BIIa-1 duwstel Europa IIa (V)	€ 96.26	3	909	2.334
BIIL-1 duwstel Europa II Lang(V)	€ 96.26	53	908	1.962
BII-2b duwstel Eur II, 2b breed	€ 142.97	112	129	238
BII-2l 2 baks duwstel Europa II (lange form)	€ 146.10	72	2.316	5.426
sleepboot	€ 73.80	2.824	109	140
motorjacht klein	€ 9.74	12	27	30
motorjacht groot	€ 9.74	10	1.083	1.122
passagiersschip klein	€ 72.04	12	8	8
passagiersschip fietscruise	€ 72.04	27	11	13
passagiersschip oudere riviercruise	€ 183.74	31	56	159
Totaal		13.241	216.052	527.275

Voor het lage scenario gelden onderstaande waarden:



Tabel 37: Overzicht van kosten en totale wachttijden per scheepstype (in uren) voor het Lage scenario

Scheepsklasse	Kosten per uur	2019	2050	2120
M0 (overig)	€ 31,53	27	28	37
M1 (Spits) (CEMT I)	€ 31,55	31	61	104
M2 (Kempenaar) (CEMT II)	€ 36,02	573	609	1.001
M3 (Hagenaar) (CEMT III)	€ 39,42	1.263	1.651	3.152
M4 (Dortmund-Emskan) (CEMT III)	€ 43,38	832	1.717	3.922
M5 (Verlengde Dortmunder) (CEMT III)	€ 51,25	923	2.520	6.344
M6 (Rijn-Hernekan) (CEMT IV)	€ 69,46	1.422	3.894	9.650
M7 (Verlengd Rijn-Hernekan) (CEMT IV)	€ 91,87	254	1.459	3.837
M8 (Groot Rijnschip) (CEMT V)	€ 117,48	1.961	7.881	19.953
M9 (Verlengd Groot Rijnschip)	€ 125,43	259	1.047	2.583
M10 (Breed Groot Rijnschip)	€ 151,03	16	156	380
M11 (Verlengd Breed Groot Rijnschip)	€ 142,75	38	195	456
M12 (Rijnmax)	€ 192,26	63	671	1.762
C1b, koppilverband, 2 spitsen breed	€ 44,95	1	4	6
C1-l, koppilverband, 2 spitsen (lang) (I)	€ 44,95	7	9	12
C2b, koppilverband, IV + Eur I breed	€ 110,37	27	141	311
C3l, koppilverband, Va + Eur II lang	€ 132,45	11	692	1.911
BO1 duwstel	€ 43,15	3	1	2
BO2 duwstel	€ 47,60	2	18	34
BO3 duwstel	€ 50,21	39	19	36
BO4 duwstel	€ 52,40	241	75	174
BI-1 duwstel Europa I (IV)	€ 87,57	37	389	909
BII-1 duwstel Europa II (V)	€ 92,09	36	1.248	3.036
BIIa-1 duwstel Europa IIa (V)	€ 96,26	3	65	177
BIIL-1 duwstel Europa II Lang(V)	€ 96,26	53	86	220
BII-2b duwstel Eur II, 2b breed	€ 142,97	112	18	37
BII-2l 2 baks duwstel Europa II (lange form)	€ 146,10	72	231	611
sleepboot	€ 73,80	2.824	87	105
motorjacht klein	€ 9,74	12	20	21
motorjacht groot	€ 9,74	10	769	779
passagiersschip klein	€ 72,04	12	6	7
passagiersschip fietscruise	€ 72,04	27	7	11
passagiersschip oudere riviercruise	€ 183,74	31	8	10
Totaal		13.241	27.832	63.710

Het prijspeil is na 2021 jaarlijks opgehoogd met een kwart van de stijging van de reële loonvoet (V&W & CPB 2004). In de WLO is geen gedetailleerde berekening gemaakt die onderscheid maakt tussen arbeidsproductiviteit en loonvoet. In feite is aangenomen dat de ontwikkeling van het inkomen gelijk is aan de ontwikkeling van het bbp per hoofd, en in lijn daarmee dat de ontwikkeling van de loonvoet gelijk is aan de ontwikkeling van de arbeidsproductiviteit. Sinds 1990 is de structurele ontwikkeling van de loonvoet overigens ook vrijwel gelijk aan de ontwikkeling van de arbeidsproductiviteit (Eggelte et al. 2014). In de berekening is de ontwikkeling in de arbeidsproductiviteit als proxy voor de ontwikkeling in de loonvoet gebruikt, afkomstig van het WLO thema macro-economie.



Houden we rekening met ingroei van de baten vanaf de situatie in 2021 (rekening houdend met verschillende kansen op lage waterstanden en dus een 'fictief jaar' en groei van de scheepvaartvolumes conform WLO Hoog en WLO Laag naar 2030 en 2040 toe, dan komen we op de volgende jaarlijkse economische baten (ongedisconteerd) uit:

Tabel 38: Overzicht van jaarlijkse economische reistijdbaten

Jaar	Laag	Hoog
2021	€ 1.100.830	
2030	€ 1.470.253	€ 6.206.985
2040	€ 1.697.407	€ 9.346.702
2050	€ 2.931.950	€ 26.410.524
2120	€ 6.804.874	€ 60.586.334

Hierbij is gecorrigeerd voor doorvoer; deze baten kunnen MKBA-technisch niet aan Nederland toegerekend worden. In totaal valt 1,4% van de baten hierdoor weg.

Betrouwbaarheidsbaten

Voor sluisprojecten is de volgende betrouwbaarheidsmethodiek ontwikkeld voor binnenvaartsluizen: een inschatting wordt gemaakt van betrouwbaarheid door te kijken naar de 90%-passeertijd waarde van een sluis en de daaruit voortvloeiende baten. De 90%-waarde van een sluis is de passeertijd waarbinnen 90% van alle schepen de sluis passeren (bv. 80min.) Er werd verondersteld dat in de planning voor lijndiensten rekening wordt gehouden met de maximum passeertijd die geldt voor de 90% van de schepen. Een verlaging van de 90%-waarde door maatregelen bij sluizen levert betrouwbaarheidsbaten op (= lagere transportkosten) De betrouwbaarheid van reistijden (90%-waarde) is sterk afhankelijk van de I/C verhouding van een sluis.

Het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) publiceerde in 2013 een paper over de waarde van betrouwbaarheid³⁸. Dit paper beschrijft het specifieke belang van betrouwbare reistijden voor de binnenvaart. Zogenaamde trade-off ratio's bepalen de waarde van een uur betrouwbaardere reistijden. Voor de binnenvaart is deze vastgesteld op 8% van de reistijdwaardering. Onderstaande tabel toont de 90% wachttijden per zichtjaar voor het WLO-hoog scenario. Door deze te vermenigvuldigen met de scheepsaantallen per klasse, de reistijdwaardering en de trade-off-ratio, wordt de betrouwbaarheidsbaat van een tweede sluiskolk bij sluis Grave inzichtelijk gemaakt.

Onderstaande tabel toont het verschil van de 90% onderschrijdingswaarde van de wachttijd bij sluis Grave tussen de projectalternatieven en het referentiealternatief in het geval van het WLO Hoog scenario, per zichtjaar.

³⁸ Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (2013) – De maatschappelijke waarde van kortere en betrouwbaardere reistijden. Te raadplegen via <https://www.kimnet.nl/publicaties/rapporten/2013/11/18/de-maatschappelijke-waarde-van-kortere-en-betrouwbaardere-reistijden>



Tabel 39: Overzicht van 90% onderschrijdingswaarde van de wachttijd [in uren] bij sluis Grave - vergelijking tussen één en twee kolken – in het WLO Hoog scenario

Scheepsklasse	Kosten per uur	2019	2050	2120
M0 (overig)	€ 31,53	0.54	0.63	0.81
M1 (Spits) (CEMT I)	€ 31,55	0.70	2.30	2.62
M2 (Kempenaar) (CEMT II)	€ 36,02	0.77	2.38	3.45
M3 (Hagenaar) (CEMT III)	€ 39,42	0.97	4.85	9.00
M4 (Dortmund-Emskan) (CEMT III)	€ 43,38	1.34	15.56	47.51
M5 (Verlengde Dortmunder) (CEMT III)	€ 51,25	1.66	39.46	156.51
M6 (Rijn-Hernekan) (CEMT IV)	€ 69,46	1.86	42.62	159.76
M7 (Verlengd Rijn-Hernekan) (CEMT IV)	€ 91,87	1.82	55.93	180.76
M8 (Groot Rijnschip) (CEMT V)	€ 117,48	2.08	52.29	179.41
M9 (Verlengd Groot Rijnschip)	€ 125,43	2.05	29.84	124.21
M10 (Breed Groot Rijnschip)	€ 151,03	1.62	34.49	141.41
M11 (Verlengd Breed Groot Rijnschip)	€ 142,75	2.86	49.93	183.50
M12 (Rijnmax)	€ 192,26	3.26	40.77	118.13
C1b, koppelverband, 2 spitsen breed	€ 44,95	0.92	9.96	6.87
C1-l, koppelverband, 2 spitsen (lang) (I)	€ 44,95	1.03	1.78	2.68
C2b, koppelverband, IV + Eur I breed	€ 110,37	2.28	7.45	51.37
C3l, koppelverband, Va + Eur II lang	€ 132,45	0.80	54.06	129.91
BO1 duwstel	€ 43,15	0.89	2.23	3.45
BO2 duwstel	€ 47,60	0.96	3.25	4.31
BO3 duwstel	€ 50,21	1.46	3.14	7.67
BO4 duwstel	€ 52,40	1.71	27.24	113.53
BI-1 duwstel Europa I (IV)	€ 87,57	1.83	35.59	150.00
BII-1 duwstel Europa II (V)	€ 92,09	1.88	36.58	145.67
BIIa-1 duwstel Europa IIa (V)	€ 96,26	2.10	62.87	208.90
BIIL-1 duwstel Europa II Lang(V)	€ 96,26	3.35	50.96	154.38
BII-2b duwstel Eur II, 2b breed	€ 142,97	0.52	5.60	36.39
BII-2l 2 baks duwstel Europa II (lange form)	€ 146,10	0.51	87.27	217.15
sleepboot	€ 73,80	0.52	0.88	1.12
motorjacht klein	€ 9,74	0.54	0.54	0.55
motorjacht groot	€ 9,74	0.69	0.56	0.56
passagiersschip klein	€ 72,04	1.26	0.69	0.72
passagiersschip fietscruise	€ 72,04	0.54	1.26	1.35
passagiersschip oudere riviercruise	€ 183,74	0.70	4.13	29.46



Onderstaande tabel laat de 90%-onderschrijdingswaarden voor de wachttijden bij sluis Grave zien in het geval van het WLO Laag scenario.

Tabel 40: Overzicht van 90% onderschrijdingswaarde van de wachttijd [in uren] bij sluis Grave - vergelijking tussen één en twee kolken – in het WLO Laag scenario

Scheepsklasse	Kosten per uur	2019	2050	2120
M0 (overig)	€ 31,53	0.54	0.58	0.66
M1 (Spits) (CEMT I)	€ 31,55	0.70	1.55	2.01
M2 (Kempenaar) (CEMT II)	€ 36,02	0.77	1.56	2.35
M3 (Hagenaar) (CEMT III)	€ 39,42	0.97	2.36	4.62
M4 (Dortmund-Emskan) (CEMT III)	€ 43,38	1.34	4.64	11.00
M5 (Verlengde Dortmunder) (CEMT III)	€ 51,25	1.66	7.81	18.95
M6 (Rijn-Hernekan) (CEMT IV)	€ 69,46	1.86	8.22	19.12
M7 (Verlengd Rijn-Hernekan) (CEMT IV)	€ 91,87	1.82	9.74	21.84
M8 (Groot Rijnschip) (CEMT V)	€ 117,48	2.08	9.52	21.22
M9 (Verlengd Groot Rijnschip)	€ 125,43	2.05	7.05	16.13
M10 (Breed Groot Rijnschip)	€ 151,03	1.62	7.94	20.24
M11 (Verlengd Breed Groot Rijnschip)	€ 142,75	2.86	9.38	19.63
M12 (Rijnmax)	€ 192,26	3.26	8.31	15.71
C1b, koppilverband, 2 spitsen breed	€ 44,95	0.92	2.91	4.80
C1-l, koppilverband, 2 spitsen (lang) (I)	€ 44,95	1.03	0.80	0.93
C2b, koppilverband, IV + Eur I breed	€ 110,37	2.28	3.72	11.97
C3l, koppilverband, Va + Eur II lang	€ 132,45	0.80	9.36	16.94
BO1 duwstel	€ 43,15	0.89	1.78	4.56
BO2 duwstel	€ 47,60	0.96	1.67	2.95
BO3 duwstel	€ 50,21	1.46	2.66	4.81
BO4 duwstel	€ 52,40	1.71	5.31	13.16
BI-1 duwstel Europa I (IV)	€ 87,57	1.83	6.76	17.38
BII-1 duwstel Europa II (V)	€ 92,09	1.88	7.77	17.87
BIIa-1 duwstel Europa IIa (V)	€ 96,26	2.10	9.80	21.73
BIIL-1 duwstel Europa II Lang(V)	€ 96,26	3.35	11.35	22.48
BII-2b duwstel Eur II, 2b breed	€ 142,97	0.52	3.08	12.00
BII-2l 2 baks duwstel Europa II (lange form)	€ 146,10	0.51	13.76	24.04
sleepboot	€ 73,80	0.52	0.65	0.81
motorjacht klein	€ 9,74	0.54	0.48	0.50
motorjacht groot	€ 9,74	0.69	0.50	0.50
passagiersschip klein	€ 72,04	1.26	0.55	0.54
passagiersschip fietscruise	€ 72,04	0.54	0.77	1.36
passagiersschip oudere riviercruise	€ 183,74	0.70	1.51	1.35

Houden we rekening met ingroei van de baten vanaf de situatie in 2021 (rekening houdend met verschillende kansen op lage waterstanden en dus een 'fictief jaar' en groei van de scheepvaartvolumes conform WLO Hoog en WLO Laag naar 2030 en 2040 toe, dan komen we op de volgende jaarlijkse economische baten (ongedisconteerd) uit:

Tabel 41: Overzicht van jaarlijkse betrouwbaarheidsbaten

Jaar	Laag	Hoog
2021	€ 181.720	
2030	€ 296.421	€ 296.421
2040	€ 423.867	€ 423.867
2050	€ 551.312	€ 551.312
2120	€ 1.265.137	€ 1.265.137



Opwaarderen van het traject Lith – Cuijk van de oost-westtak van de Maasroute naar klasse Vb

Een tweede sluiskolk bij Grave maakt het mogelijk, door de grotere benutbare kolk lengte, ook met CEMT-klasse Vb schepen de oost-westtak van de Maasroute volledig te bevaren. Hierdoor hoeven koppelerbanden en tweebakduwsteden die varen tussen North Sea Port en Antwerpen enerzijds en Limburg anderzijds, niet meer om te varen over de Nieuwe Merwede, Waal en het Maas-Waalkanaal maar kunnen zij de Maas blijven bevaren. Deze route is korter in tijd (drie kwartier) en bespaart ordegruote 500 liter brandstof. In 2021 is de verwachting dat ongeveer 69 schepen per jaar op deze relatie bevaren. Uit de vlootprognose achter de IMA van Rijkswaterstaat blijkt dat dit aantal kan groeien naar 237 (WLO Laag) tot 294 (WLO Hoog) stuks in 2050. Omdat in deze vlootprognose geen rekening is gehouden met verdere uitbouw van de noord-zuidtak van de Maasroute, is in overleg met deskundigen binnen het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en Rijkswaterstaat WVL besloten de verwachte aantallen klasse Vb schepen op dit deel van de Maasroute te verdubbelen naar 474 (WLO Laag) tot 592 (WLO Hoog) per jaar.

De halveringsregel is toegepast op de baten voor klasse Vb schepen:

Het aanleggen van een nieuwe weg of het verbeteren van bestaande infrastructuur kan leiden tot een toename van het verkeer over de weg. Aan dit nieuwe verkeer zijn welvaartseffecten verbonden. De rule of half is een rekenmethode om de totale baten van deze nieuwkomers in te schatten. De rule of half houdt in dat een 'nieuwkomer' gemiddeld genomen half zoveel baat heeft bij een verbetering van de infrastructuur in vergelijking met iemand die in het nulalternatief al gebruik maakt van de infrastructuur.

Het gemiddelde klasse Vb schip heeft een kostprijs van € 240 per uur, inclusief brandstofkosten. Gegeven de aantallen per scenario, zijn de volgende baten berekend:

Tabel 42: Overzicht van de baten per jaar als gevolg van opwaardering van de oost-westtak van de Maasroute naar klasse Vb door aanleg van een nieuwe, grotere, tweede sluiskolk

Jaar	Laag	Hoog
2030	€46.802	€55.307
2040	€80.374	€98.329
2050	€113.946	€141.351
2120	€113.946	€141.351

Gecombineerd met 3,50 meter diepgang door het opheffen van de diepgangsbepierking bij de buisleidingenstraat Niftrik kunnen de baten aanvullend nog eens met 10% verhoogd worden.

Robuustheid

Door een tweede sluiskolk te realiseren bij sluis Grave wordt het varen over de oost-westtak van de Maasroute robuuster. Binnenvaartondernemingen kunnen door de aan te leggen tweede kolk te allen tijde passeren, zelfs als één van twee kolken gestremd is door regulier onderhoud of reparatiewerkzaamheden. In de huidige situatie met *slechts* één sluiskolk resulteert onderhoud of reparatie direct tot een volledige stremming van de vaart. In de periode 2019-2021 is sluis Grave in totaal 12 dagen gestremd geweest, verdeeld over 78 stremmingen als gevolg van reparatie en 8 vanwege gepland onderhoud. Dat komt overeen met 1,2% van de tijd. De gemiddelde stremmingsduur bedraagt 4 uur. Gedurende deze tijd kunnen schepen niet passeren.



We nemen aan dat schepen anticiperen op geplande stremmingen maar gehinderd worden door ongeplande stremmingen. We gaan er vanuit dat een schip dat in de stremming komt te liggen, gemiddeld de helft van de stremmingsduur hinder ondervindt. Ook rekenen we een kleine toeslag, doordat na de stremming langere wachttijden ontstaan. Hierdoor nemen we niet 50% van de stremmingsduur mee, maar 60% van de stremmingsduur om het effect te modelleren.

Tabel 43: Jaarlijkse baten [in €] als gevolg van meer robuustheid - nooit meer stremmingen doordat alle kolken uitvallen.

Jaar	Laag	Hoog
2030	€46.604	€51.980
2040	€49.189	€60.540
2050	€51.775	€69.100
2120	€59.399	€76.205

Verdiepen van het traject Lith – Cuijk naar 3,50 meter door het verdiepen van de buisleidingenstraat te Niftrik

Door de buisleidingenstraat bij Niftrik te verdiepen naar 3,50 in plaats van de huidige 3,20 meter, wordt het eerder gunstiger voor schepen om de route via de oost-westtak van de Maasroute te bevaren in plaats van via de Waal. Voor de reguliere vloot bij Grave geldt ook een voordeel: deze schepen kunnen zwaarder beladen worden dan normaal. Dit alles leidt tot een kostenvoordeel. Dit kostenvoordeel is berekend door in de uitgangssituatie en in de toekomstsituatie het aandeel van schepen te becijferen, per scheepsklasse, dat voordeel heeft van een grotere belading. Hierbij gelden de volgende condities:

Voor schepen die regulier via Grave varen:

- De maximale scheepsdiepgang moet groter zijn dan 3,20 meter;
- De vaarwegen die het schip dient te bevaren tussen herkomst en bestemming moeten, behoudens de oost-westtak van de Maasroute, ook meer dan 3,20 meter diepte toelaten;
- Het schip dient, gegeven de vaarwegen die het bevaart, op maximale diepgang te varen;
- Het soortelijk gewicht van de lading dient meer dan 3,20 meter lading te accommoderen.

Voor omvarende schepen geldt het volgende:

- Het betreft schepen die het Maas-Waalkanaal met meer dan 3,20 meter diepgang bevaren, maar minder dan 3,50 meter diepgang.
- De maximale scheepsdiepgang moet geringer zijn dan 3,50 meter.

Op basis van het Basisreizenbestand Binnenvaart 2019 is bepaald welk aantal schepen per RWS-scheepsklasse baat heeft bij een grotere diepgang op de oost-westtak van de Maasroute en welke baat er gemiddeld per schip optreedt. Deze waarden zijn contant gehouden en vermenigvuldigd met toekomstige aantallen schepen. Onderstaande tabel toont voor het reguliere verkeer en het omvarende verkeer het aantal schepen, het percentage schepen en de gemiddelde baat per schip.

Onderstaande tabel toont het aantal reguliere schepen dat baat heeft bij een verdieping van de Maasroute in het basisjaar.



Tabel 44: Overzicht van de baten per reis voor schepen die dieper dan 3,20 kunnen afladen en via sluis Grave passeren in het basisjaar

	Aantal reizen	Percentage	Totale baat Grave	Baat per reis
M0 (overig)	0	0,0%	-	n.v.t.
M1 (Spits) (CEMT I)	0	0,0%	-	n.v.t.
M2 (Kempenaar) (CEMT II)	0	0,0%	-	n.v.t.
M3 (Hagenaar) (CEMT III)	0	0,0%	-	n.v.t.
M4 (Dortmund-Emskan) (CEMT III)	0	0,0%	-	n.v.t.
M5 (Verlengde Dortmunder) (CEMT III)	1	0,2%	76	€ 76
M6 (Rijn-Hernekan) (CEMT IV)	3	0,3%	549	€ 183
M7 (Verlengd Rijn-Hernekan) (CEMT IV)	0	0,0%	-	n.v.t.
M8 (Groot Rijnschip) (CEMT V)	21	1,1%	13.472	€ 642
M9 (Verlengd Groot Rijnschip)	4	1,1%	1.839	€ 460
M10 (Breed Groot Rijnschip)	1	0,9%	1.293	€ 1.293
M11 (Verlengd Breed Groot Rijnschip)	0	0,0%	-	n.v.t.
M12 (Rijnmax)	6	3,4%	4.955	€ 826
C1b koppelverband, 2 spitsen breed	0	0,0%	-	n.v.t.
C1l koppelverband, 2 spitsen (lang) (I)	0	0,0%	-	n.v.t.
C2b koppelverband, IV + Eur I breed	0	0,0%	-	n.v.t.
C3l koppelverband, Va + Eur II lang	1	0,8%	307	€ 307
BO1 duwstel	0	0,0%	-	n.v.t.
BO2 duwstel	0	0,0%	-	n.v.t.
BO3 duwstel	0	0,0%	-	n.v.t.
BO4 duwstel	0	0,0%	-	n.v.t.
BI duwstel Europa I (IV)	1	1,2%	130	€ 130
BII-1 duwstel Europa II (V)	1	0,6%	644	€ 644
BIIa-1 duwstel Europa IIa (V)	0	0,0%	-	n.v.t.
BIIL-1 duwstel Europa II Lang(V)	0	0,0%	-	n.v.t.
BII-2b duwstel Eur II, 2b breed	0	0,0%	-	n.v.t.
BII-6l 2 baks duwstel Europa II (lange form)	0	0,0%	-	n.v.t.
sleepboot	0	0,0%	-	n.v.t.
motorjacht klein	0	0,0%	-	n.v.t.
motorjacht groot	0	0,0%	-	n.v.t.
passagiersschip klein	0	0,0%	-	n.v.t.
passagiersschip fietscruise	0	0,0%	-	n.v.t.
passagiersschip oudere riviercruise	0	0,0%	-	n.v.t.



Onderstaande tabel toont het aantal en het aandeel omvarende schepen dat baat heeft bij een verdieping van de Maasroute in het basisjaar 2019.

Tabel 45: Overzicht van de baten per reis voor schepen die dieper dan 3,20 kunnen afladen en via sluis Weurt passeren in het basisjaar

	Aantal reizen	Percentage	Totale baat Weurt	Baat per reis
M0 (overig)	-	0,0%	-	n.v.t.
M1 (Spits) (CEMT I)	-	0,0%	-	n.v.t.
M2 (Kempenaar) (CEMT II)	-	0,0%	-	n.v.t.
M3 (Hagenaar) (CEMT III)	-	0,0%	-	n.v.t.
M4 (Dortmund-Emskan) (CEMT III)	1	0,1%	56	€ 56
M5 (Verlengde Dortmunder) (CEMT III)	2	0,1%	171	€ 86
M6 (Rijn-Hernekan) (CEMT IV)	11	0,3%	1.741	€ 158
M7 (Verlengd Rijn-Hernekan) (CEMT IV)	-	0,0%	-	n.v.t.
M8 (Groot Rijnschip) (CEMT V)	59	0,9%	39.977	€ 678
M9 (Verlengd Groot Rijnschip)	10	0,9%	6.292	€ 629
M10 (Breed Groot Rijnschip)	3	0,9%	3.511	€ 1.170
M11 (Verlengd Breed Groot Rijnschip)	3	0,8%	2.334	€ 778
M12 (Rijnmax)	8	1,2%	12.046	€ 1.506
C1b koppelverband, 2 spitsen breed	-	0,0%	-	n.v.t.
C1l koppelverband, 2 spitsen (lang) (I)	-	0,0%	-	n.v.t.
C2b koppelverband, IV + Eur I breed	-	0,0%	-	n.v.t.
C3l koppelverband, Va + Eur II lang	2	0,5%	1.355	€ 678
BO1 duwstel	-	0,0%	-	n.v.t.
BO2 duwstel	-	0,0%	-	n.v.t.
BO3 duwstel	-	0,0%	-	n.v.t.
BO4 duwstel	-	0,0%	-	n.v.t.
BI duwstel Europa I (IV)	1	0,6%	130	€ 130
BII-1 duwstel Europa II (V)	4	0,7%	2.284	€ 571
BIIa-1 duwstel Europa IIa (V)	-	0,0%	-	n.v.t.
BIIl-1 duwstel Europa II Lang(V)	-	0,0%	-	n.v.t.
BII-2b duwstel Eur II, 2b breed	-	0,0%	-	n.v.t.
BII-6l 2 baks duwstel Europa II (lange form)	1	1,6%	3.857	€ 3.857
sleepboot	-	0,0%	-	n.v.t.
motorjacht klein	-	0,0%	-	n.v.t.
motorjacht groot	-	0,0%	-	n.v.t.
passagiersschip klein	-	0,0%	-	n.v.t.
passagiersschip fietscruise	-	0,0%	-	n.v.t.
passagiersschip oudere riviercruise	-	0,0%	-	n.v.t.

Onderstaande tabel is opgesteld door het aantal per scheepsklasse per zichtjaar te vermenigvuldigen met het percentage reizen dat baat heeft bij verdieping van de oost-westtak van de Maasroute en de gemiddelde baat per reis.

Tabel 46: Overzicht van de jaarlijkse baten als gevolg van verdieping van de oost-westtak van de Maasroute naar 3,50 meter

Jaar	Laag	Hoog
2030	€117,357	€125,421
2040	€128,626	€145,650
2050	€139,894	€165,879
2120	€145,555	€167,931

Emissiebaten

Emissiebaten ontstaan door een drietal mogelijkheden:

- Het voorkomen van emissies door stilliggende schepen bij de sluis, door wachttijdreductie als gevolg van de aanleg van een tweede sluiscolk.



- Het geschikt maken van de oost-westtak van de Maasroute voor klasse Vb samenstellen, waardoor deze niet meer hoeven om te varen via de Nieuwe Merwede, Waal en het Maas-Waalkanaal;
- Het verdiepen van de oost-westtak van de Maasroute door het wegnemen van de diepgangsbepijning bij de buisleidingenstraat van Niftrik op 3,20 meter.

Ligemissies

De ligemissies zijn bepaald aan de hand van de Prelude tabel van Aeries voor stillegende schepen. Deze tabel definieert de CO₂-emissies, NO_x-emissies en fijnstofemissies van stilliggende schepen per scheepsgrootteklasse.

Tabel 47: Overzicht van de emissies van CO₂, stikstofoxiden (NO_x) en fijnstof (PM) per uur voor stilliggende schepen (bron: Prelude/Aeries)

	NO _x [g/u]	PM [g/u]	CO ₂ [kg/u]
M0 (overig)	95	24	2.1
M1 (Spits) (CEMT I)	95	24	2.1
M2 (Kempenaar) (CEMT II)	95	24	2.1
M3 (Hagenaar) (CEMT III)	95	24	2.1
M4 (Dortmund-Emskan) (CEMT III)	95	24	2.1
M5 (Verlengde Dortmunder) (CEMT III)	95	24	2.1
M6 (Rijn-Hernekan) (CEMT IV)	95	24	2.1
M7 (Verlengd Rijn-Hernekan) (CEMT IV)	95	24	2.1
M8 (Groot Rijnschip) (CEMT V)	148	38	3.6
M9 (Verlengd Groot Rijnschip)	148	38	3.6
M10 (Breed Groot Rijnschip)	148	38	3.6
M11 (Verlengd Breed Groot Rijnschip)	148	38	3.6
M12 (Rijnmax)	148	38	3.6
C1b koppelverband, 2 spitsen breed	95	24	2.1
C1l koppelverband, 2 spitsen (lang) (I)	95	24	2.1
C2b koppelverband, IV + Eur I breed	95	24	2.1
C3l koppelverband, Va + Eur II lang	95	24	2.1
BO1 duwstel	95	24	2.1
BO2 duwstel	95	24	2.1
BO3 duwstel	95	24	2.1
BO4 duwstel	95	24	2.1
BI-1 duwstel Europa I (IV)	95	24	2.1
BII-1 duwstel Europa II (V)	148	38	3.6
BIIa-1 duwstel Europa IIa (V)	148	38	3.6
BIIl-1 duwstel Europa II Lang(V)	148	38	3.6
BII-2b duwstel Eur II, 2b breed	148	38	3.6
BII-2l 2 baks duwstel Europa II (lange form)	148	38	3.6
sleepboot	148	38	3.6
motorjacht klein	95	24	2.1
motorjacht groot	95	24	2.1
passagiersschip klein	148	38	3.6
passagiersschip fietscruise	148	38	3.6
passagiersschip oudere riviercruise	148	38	3.6

Gegeven de wachttijden per zichtjaar en per scenario, resulteren de volgende baten voor emissies als gevolg van wachttijdreductie:

Tabel 48: Overzicht van de jaarlijkse baten [in €] als gevolg van emissiereductie door minder stilliggende schepen

Jaar	Laag	Hoog
2030	€199,887	€1,456,888
2040	€207,628	€1,700,317
2050	€0	€0
2120	€0	€0



De emissiebaten van 2050 zijn op € 0 gezet als gevolg van de doelstelling uit de Green Deal Zeevaart, Binnenvaart en Havens die uitgaat van zero-emissie binnenvaart per 2050.

Klasse Vb schepen

De batens voor emissiereductie van klasse Vb schepen zijn bepaald aan de hand van de brandstofbesparing van 500 liter per reis. De halveringsregel is toegepast op deze batens.

Gegeven de aantallen klasse Vb schepen per zichtjaar en per scenario, resulteren de volgende batens voor emissies:

Tabel 49: Overzicht van de jaarlijkse emissiebatens [in €] als gevolg van opwaardering van de oost-westtak van de Maasroute naar klasse Vb

Jaar	Laag	Hoog
2030	€99,884	€118,035
2040	€96,487	€118,041
2050	€0	€0
2120	€0	€0

Verdieping van de Maasroute

Als gevolg van verdieping van de Maasroute, zijn er minder reizen nodig om dezelfde hoeveelheid lading te vervoeren. Dit leidt tot een besparing op brandstofverbruik en bijgevolg emissies.

Gegeven de vlootontwikkeling en het percentage schepen dat profijt heeft van verdieping van de oost-westtak van de Maasroute, voorzien wij de volgende emissiebatens voor projectalternatief 2.

Tabel 50: Overzicht van de jaarlijkse emissiebatens als gevolg van verdieping van de oost-westtak van de Maasroute naar 3,50 meter

Jaar	Laag	Hoog
2030	€ 93,885	€ 100,337
2040	€ 65,543	€ 75,881
2050	0	0
2120	0	0

Totaal

Onderstaande tabel sommeert de effecten per zichtjaar per projectalternatief;

Tabel 51: Overzicht van de jaarlijkse gesommeerde emissiebatens [in €]

Jaar	Laag		Hoog	
	Alternatief 1	Alternatief 2	Alternatief 1	Alternatief 2
2030	€299.771	€393.656	€1.574.923	€1.675.260
2040	€304.115	€369.658	€1.818.358	€1.894.239
2050	€0	€0	€0	€0
2120	€0	€0	€0	€0

Indirecte effecten

De indirecte effecten zijn berekend als 15% van de directe transportbatens.



Kwalitatieve effecten – natuur

Als gevolg van het verminderen van emissies neemt de kwaliteit van de natuur toe. Dit komt door minder stikstofemissie en bijgevolg minder depositie op kwetsbare natuurgebieden. Dit effect uit zich het sterkst rondom 2030, als de energietransitie van de binnenvaartsector nog vorm moet krijgen. Naar 2050 toe dempt het effect uit als gevolg van het streven van het Rijk en de binnenvaartsector om tegen die tijd klimaatneutraal en zero-emissie te opereren. De stikstofemissie kent zowel een lokale component door langdurig wachtende schepen in de voorhavens, als een landelijke component doordat de Maasroute met klasse Vb schepen bevaren kan worden en in het geval van een verdieping van de buisleidingenstraat bij Niftrik, ook dieper. Het volgende effect ten aanzien stikstofdepositie is waarneembaar per N2000-gebied:

Tabel 52: Jaarlijks effect op natuurgebieden (in reductie van mol/ha/jaar) als gevolg van emissiereductie (bron: Aerius op basis van invoer Panteia)

Scenario	Gebied	Reductie wachttijd	Klasse Vb	3,50 m diepgang	Totaal
Projectalternatief 1	Rijntakken	0,1	0,3	n.v.t.	0,44
	Bieschbosch	0,0	0,2	n.v.t.	0,2
	Loevestein	0,0	0,2	n.v.t.	0,2
	Veluwe	0,1	0	n.v.t.	0,1
	Maasduinen	0,1	0	n.v.t.	0,1
	De Broek	0,1	0	n.v.t.	0,1
	Sint Jansberg	0,1	0	n.v.t.	0,1
	Oeffelter Meent	0,1	0	n.v.t.	0,1
	Zeldersche Driesen	0,1	0	n.v.t.	0,1
Projectalternatief 2	Rijntakken	0,1	0,3	0,2	0,6
	Bieschbosch	0,0	0,2	0,1	0,3
	Loevestein	0,0	0,2	0,1	0,3
	Veluwe	0,1	0	0	0,1
	Maasduinen	0,1	0	0	0,1
	De Broek	0,1	0	0	0,1
	Sint Jansberg	0,1	0	0	0,1
	Oeffelter Meent	0,1	0	0	0,1
	Zeldersche Driesen	0,1	0	0	0,1

