

Veiligheidsopgave KIJK

verantwoording van de veiligheidsbeoordeling

Project

Krachtige IJsseldijken Krimpenerwaard (KIJK)

Projectnummer

2019.02564

Versie

1.0

Versiedatum

23 september 2022

Status

definitief

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	4
1.1.	Verkenningfase.....	4
1.2.	Planuitwerkingsfase	5
1.3.	Doel en leeswijzer	6
2.	Analyse hoogte en stabiliteit bij start planuitwerkingsfase	7
2.1.	Hoogte.....	7
2.2.	Stabiliteit	9
3.	Nadere analyse hoogte en stabiliteit in planuitwerkingsfase	11
3.1.	Hoogte.....	11
3.2.	Stabiliteit	12
3.3.	Maatwerkdijkvakken en maatwerklocaties.	17
3.4.	Adviesteam Dijkontwerp	18
3.5.	Nadere beschouwing van onzekerheden	18
4.	Veiligheidsopgave KIIK	19
4.1.	Gehanteerde uitgangspunten vergunningenontwerp	20
	Referenties	21

1. Inleiding

Vanaf 1996 zijn de waterkeringbeheerders wettelijk verplicht om de waterkeringen periodiek te toetsen op veiligheid. De dijk langs de Hollandsche IJssel was daarbij getypeerd als een categorie c-kering (primaire kering die niet tot de directe kering van buitenwater is bestemd). In de derde toetsronde van 2010 was voor het eerst een wettelijk toetsinstrumentarium beschikbaar voor de categorie c-keringen. Uit de veiligheidstoets van 2010 [1] volgde dat met name stabiliteit voor een groot deel niet voldeed aan de toenmalige overschrijdingskans van 1:2.000 per jaar, waarna de waterkering in 2013 bij het HWBP is aangemeld om te verbeteren. Door het HWBP is de Hollandsche IJsseldijk langs de Krimpenerwaard (dijkring 15) vervolgens met hoge urgentie opgenomen in de lijst met te verbeteren dijktrajecten.

De totale versterkingsopgave van de Hollandsche IJsseldijk van dijkring 15 was opgeknipt in drie clusters: "Gouderak", "Krimpen/Ouderkerk" en "Restopgave Hollandsche IJssel". De voorbereiding van de twee clusters met de hoogste prioriteit, te weten "Gouderak" en "Krimpen/Ouderkerk" -met een totale lengte van 10,5 km- is in 2016 gecombineerd opgestart onder de naam KIIJK.

1.1. Verkenningsfase

Bij de start van de verkenningsfase in 2016 is een consequentie-analyse uitgevoerd naar de gevolgen van de nieuwe overstromingskansnorm van 1:10.000 per jaar (signaleringswaarde) die in de Waterwet van 2017 [2] is vastgesteld. Doel hiervan was om te controleren of met de invoering van de nieuwe overstromingskansnorm nog steeds sprake is van een onvoldoende toetsoordeel, dat immers in de derde toetsronde van 2010 nog bij de oude normstelling was bepaald. Bij het uitvoeren van de consequentie-analyse is gebruik gemaakt van het ontwerpinstrumentarium (OI2014v3) omdat het toetsinstrumentarium (Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium, WBI) voor de toets aan de nieuwe overstromingskansnorm op dat moment nog niet beschikbaar was. Het ontwerpinstrumentarium was vooruitlopend op de inwerkingtreding van de nieuwe overstromingskansnorm opgesteld om projecten in de ontwerpfase te kunnen laten anticiperen op de nieuwe norm. De consequentie-analyse bevestigde het stabiliteitstekort en gaf bovendien een groter hoogtetekort aan dan eerder in de derde toetsronde was vastgesteld.

In de verkenningsfase was het WBI beschikbaar en is de totale dijkversterkingsopgave voor KIIJK op onderdelen aangescherpt, onder andere door het meenemen van de sterkte van het aanwezige voorland en het verlagen van de ontwerplevensduur van de dijkversterking tot 20 jaar voor de hoogte van de grondoplossingen en tot 50 jaar voor hoogte van de constructies (zie voor nadere toelichting paragraaf 2.1.2 van het Ontwerp Projectplan Waterwet).

1.2. Planuitwerkingsfase

Door de commissie MER is in haar advies op de Notitie Reikwijdte en Detailniveau voor de MER fase 2 de aanbeveling gedaan een verdergaande 'voordeuroplossing' (de Hollandsche IJsselkering) te onderzoeken en de dijkversterkingsopgave te heroverwegen door gebruik te maken van een probabilistische analyse.

Advies CIE MER, fase 2

Mede gezien de te verwachten effecten van de dijkversterking op de omgeving adviseert de Commissie in het MER fase 2 beter te onderbouwen waarom niet wordt gekozen voor een verdergaande 'voordeuroplossing'. Dat wil zeggen dat de faalkans van de stormvloedkering maximaal wordt verkleind, waardoor mogelijk minder dijkversterking nodig is en de inpassingsopgave vereenvoudigd wordt. Een verdere verlaging van de faalkans is te bereiken door in de faalkansanalyse van de kering aanvullende technische en protocollaire maatregelen op te nemen, bijvoorbeeld het neerlaten van een schuif als de tweede schuif niet in werking is.

De NRD geeft aan (pagina 14) dat de systeemanalyse in het MER fase 2 nader wordt uitgewerkt. De Commissie adviseert om, in samenwerking met Rijkswaterstaat en andere partijen, in het MER een integrale beschouwing op te nemen waarin alle systeem mogelijkheden in beeld worden gebracht. Bekijk specifiek hoe de faalkans van de Hollandsche IJsselkering maximaal verlaagd kan worden, zodat integraal kan worden afgewogen wat (maatschappelijk) de beste oplossing is. Een mogelijke benadering kan zijn te bepalen bij welke maatregelen aan de Hollandsche IJsselkering en het watersysteem de dijkversterking onnodig zou worden. Geef ook aan hoe de kosteneffectiviteit is bepaald en welke rol deze heeft gespeeld in de afweging.

In de planuitwerkingsfase is hieraan opvolging gegeven. In samenwerking met Rijkswaterstaat zijn de mogelijkheden onderzocht om de faalkans van de Hollandsche IJsselkering te verkleinen en is bepaald welk effect dit heeft op de omvang van de dijkversterkingsopgave. Rijkswaterstaat heeft aangegeven dat in de periode tot 2030 een faalkans van 1:1.500 sluitvragen kan worden bereikt en dat op de langere termijn (2050) een verdere verbetering tot 1:2.000 sluitvragen gerealiseerd kan worden. Hierdoor neemt de ontwerpbelasting op de dijk af. Dit heeft als gevolg dat de hoogteopgave sterk vermindert, met als voordeel dat de KIIK-dijk beter ingepast kan worden.

Advies CIE MER, fase 2

Nadat de nadere systeemanalyse zoals bedoeld onder het kopje 'Integrale afweging waterveiligheid' is uitgevoerd, kan een heroverweging van de dijkversterkingsopgave noodzakelijk zijn. De Commissie adviseert om deze veiligheidsopgave gedetailleerd te onderbouwen, door gebruik te maken van een probabilistische analyse. Laat hierin zien wat de betekenis is van de aanbevelingen die staan in paragraaf 6.3.1 van het rapport "POVM Beter benutten actuele sterkte KIIK, Activiteit 6 – Faalkans updating 3 cases", of geef aan waarom de genoemde aanbevelingen de opgave nauwelijks veranderen. Gebruik een dergelijke analyse om de dijkversterking en de inpassing daarvan zo goed mogelijk op te lossen.

Voor stabiliteit is nog aanvullend grondonderzoek uitgevoerd en onderzocht of meer sterkte aan de bestaande ondergrond kan worden toegekend. Verder zijn er extra probabilistische berekeningen uitgevoerd naar aanleiding van resultaten van de POV macrostabiliteit [12].

Advies CIE MER, fase 2

De Commissie beveelt aan om het 'Adviesteam Dijkontwerp' van het hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) hierbij te betrekken, zowel bij de systeemanalyse als bij optimalisatie van de dijkversterking.

De verdere uitwerking van de veiligheidsopgave is in diverse bijeenkomsten in 2021 en 2022 met het Adviesteam Dijkontwerp besproken.

De resultaten van de aanvullende onderzoeken zijn beschreven in het rapport 'Invloed systeemmaatregelen Hollandsche IJssel op versterking van de KIJK-dijk' van juli 2022 [3], bijlage 3.2 van het Ontwerp Projectplan Waterwet.

1.3. Doel en leeswijzer

In deze notitie, bijlage 3.1 van het Ontwerp Projectplan Waterwet, is beschreven welke aanscherpingen zijn gedaan in de beoordeling van de veiligheid van de dijk om de beoogde versterkingsmaatregelen zo goed mogelijk inpasbaar te maken en zo mogelijk te minimaliseren, waarbij wel nog wordt voldaan aan de vereiste veiligheid tegen overstroming die in de Waterwet is vastgelegd. Daarbij is gebruik gemaakt van de nieuwste inzichten in de veiligheidsbeschouwing die moeten landen in het nog vast te stellen wettelijk beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI).

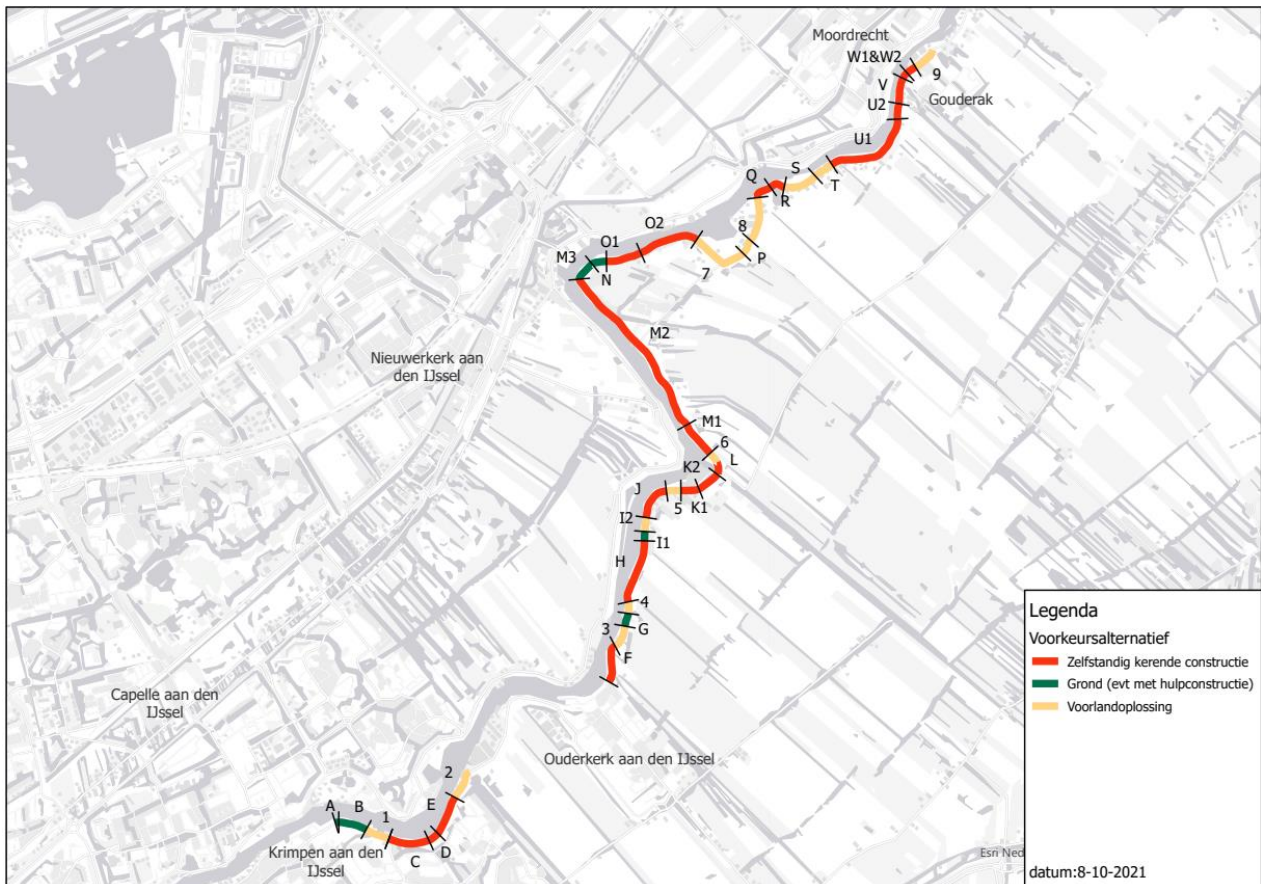
In hoofdstuk 2 is de beoordeling bij de start van de planuitwerkingsfase kort beschreven. Belangrijk vertrekpunt daarbij vormde de notitie ontwerpeisen, kaders en uitgangspunten (NOKU) [6].

Hoofdstuk 3 behandelt de aanscherpingen die zijn uitgevoerd, waarin de adviezen van de commissie MER zijn meegenomen met het effect daarvan op de veiligheidsopgave.

In hoofdstuk 4 is aangegeven tot welke veiligheidsopgave de aangescherpte beoordeling heeft geleid, die uiteindelijk in het vergunningenontwerp is opgenomen.

2. Analyse hoogte en stabiliteit bij start planuitwerkingsfase

De huidige hoogte en stabiliteit zijn geanalyseerd per dijkvak. In Figuur 1 staat de gehanteerde vakindeling van KIJK, met het VKA zoals dat is vastgesteld voor de start van de planuitwerking. In deze en volgende hoofdstukken komt deze vakindeling terug in de tabellen.



Figuur 1: Vakindeling en het VKA van de KIJK-dijk

2.1. Hoogte

In tabel 1 is de ontwerphoogte weergegeven die bij de vaststelling van het VKA is gepresenteerd in de Notitie Multi-Criteria Analyse, een bijlage van het Eindrapport Verkenning [4]. De ontwerphoogte is de hoogte die de dijk of type I damwand moet hebben aan het eind van de ontwerplevensduur. Daarbij is dus rekening gehouden met zeespiegelstijging (zie NOKU). Bij de vaststelling van het VKA is gekozen voor een kortere ontwerplevensduur zoals in de inleiding is vermeld. Vervolgens is nog voor de start van de planuitwerkingsfase een verdere reductie op hoogte bereikt door aanpassingen in het rekenmodel voor de Hollandsche IJssel die zijn doorgevoerd naar aanleiding van de systeemanalyse die in samenwerking met RWS is uitgevoerd. Voor nadere toelichting op deze aanpassingen wordt verwezen naar deze rapportage Systeemanalyse Hollandsche IJssel [5]. In tabel 1 is ook het VKV weergegeven. Het VKV bepaalt mede de benodigde hoogte door het verschil in ontwerplevensduur voor grond en type I damwand. De benodigde hoogte is bepaald volgens de uitgangspunten in de Notitie Ontwerpeisen, kaders en uitgangspunten (NOKU) versie 1.0, 10 december 2019 [6].

Dijkvak	Ontwerphoogte VKA [m NAP]	Ontwerphoogte start planuitwerking [m NAP]	VKV
A	3,80	3,70	grond
B	3,80	3,55	maatwerk
C	4,40	3,85	type I
D	4,10	3,80	maatwerk
E	4,40	3,85	type I
F	nb	3,70	type I
G	4,00	3,75	maatwerk
H	4,45	3,80	type I
I1	4,05	3,75	maatwerk
I2	4,05	3,60	voorland
J	4,45	3,80	type I
K1	3,95	3,60	maatwerk
K2	4,45	3,65	maatwerk
L	4,30	4,15	type I
M1	4,50	3,90	type I
M2	4,45	3,80	type I
M3	4,05	3,65	grond
N	3,85	3,45	grond
O	4,55	3,65	type I
Q	4,50	3,85	type I
R	4,50	3,55	type I
S	4,00	3,55	voorland
T	4,05	3,75	voorland
U1	4,45	3,85	type I
U2	4,45	4,05	type I
V	4,25	3,55	type I
W	3,85	3,55	maatwerk

Tabel 1: Ontwerphoogte volgens VKA en volgens uitgangspunten NOKU [6]

Voor de dijkvakken waar geen type I damwand wordt geplaatst geldt dat de bestaande hoogte door zetting afneemt. De met groen gemarkeerde dijkvakken in tabel 1 zijn echter voldoende hoog om aan het eind van de ontwerplevensduur (2045 voor grondoplossing en 2075 voor een type 1 oplossing) nog te voldoen aan de ontwerphoogte. Een ophoging is daar dus niet noodzakelijk.

2.2. Stabiliteit

Aan het begin van de planuitwerkingsfase zijn per dijkvak nieuwe berekeningen gemaakt met de nieuwste WBI software en aangescherpte uitgangspunten zoals het rekenen met grote glijcirkels, dat wil zeggen dat de berekende glijcirkel minimaal twee meter van de dijkskruin omvat. Dit is nader uitgelegd in het rapport invloed systeemmaatregelen [3]. In tabel 2 zijn de berekende stabiliteitsfactoren gegeven uit zowel de verkenning (aangeduid als 'nulvariant') als de herberekening bij de start van de planuitwerking. De vereiste stabiliteit in de verkenningfase was een safety factor (SF) van 1,35 (-). De met groen gemarkeerde dijkvakken voldoen aan die eis.

Dijkvak	nulvariant STBI Uplift Van berekend verkenning	Herberekend april 2021 op grote cirkels	VKV
A	1,15	1,18	grond
B	1,15	0,94	maatwerk
C	1,14	1,11	type I
D	1,14	1,20	maatwerk
E	1,14	1,10	type I
F	0,83	0,83	type I
G	1,48	1,05	maatwerk
H	1,48	1,02	type I
I1	1,48	1,17	maatwerk
I2	1,48	1,19	voorland
J	1,48	1,04	type I
K1	1,05	1,12	maatwerk
K2	1,05	0,82	maatwerk
L	1,05	0,79	type I
M1	1,05	0,94	type I
M2 deel 1	1,05	0,82	type I
M2 deel 2	1,05	0,95	type I
M3	1,05	1,15	grond
N	0,94	0,87	grond
O1	1,11	0,90	type I
O2	1,11	0,92	type I
P		0,98	voorland
Q	1,25	0,83	type I
R	1,06	0,72	type I
S	1,3	0,90	voorland
T	1,3	1,03	voorland
U1	1,3	0,77	type I
U2	1,3	0,94	type I
V	1,05	1,26	type I
W1	1,05	1,56	maatwerk
W2	1,05	1,71	maatwerk

Tabel 2: Aanvullende berekening met de uitgangspunten conform NOKU [6] voor grote glijvlakken.

In tabel 2 valt op dat de dijkvakken G, H, I1 en J voldoen aan de stabiliteitseis volgens berekening in de verkenningfase, maar in de herberekening duidelijk niet. De verklaring is dat een niet maatgevende doorsnede is doorgerekend in de verkenningfase.

De resultaten van deze herbeoordeling bevestigen het overwegend onvoldoende stabiliteitsresultaat uit de verkenning, met voor een aantal vakken een significant ongunstiger stabiliteitsresultaat en voor een aantal vakken een significant gunstiger resultaat. De oorzaak daarvan is een verschil in detailniveau en uitgangspunten betreffende met name grondsterkte, ligging van de freatische lijn en definiëring van het maatgevende glijvlak. Zo is in de herbeoordeling uitgegaan van eenduidig bepaalde sterkteparameters voor de overconsolidatie van de grond (in plaats van lokaal afgeleide karakteristieke waarden), een eenduidige schematisering van de ligging van de freatische lijn, en is uitsluitend gekeken naar grote glijvlakken.

Aan de hand van de hoogte-opgave in tabel 1, en de stabiliteitsopgave in tabel 2 zijn in de planuitwerking onderzoeksvragen gedefinieerd, gericht op de mogelijk verdere aanscherping van de veiligheidsopgave. In de verdere planuitwerking zijn de volgende onderwerpen nader onderzocht en uitgewerkt, zie hoofdstuk 3.

- onzekerheidstoets (hoogte) (paragraaf 3.1.1)
- verdere verlaging faalkans Hollandsche IJsselkering (hoogte en STBI)
 - uitgewerkt in het rapport invloed systeemmaatregelen [3]
- schematiseringsfactor (STBI) (paragraaf 3.2.1)
- grondsterkte (STBI) (paragraaf 3.2.2)
- restbreedte benadering (STBI) (paragraaf 3.2.3)
- probabilistisch rekenen (STBI) (paragraaf 3.2.4)
- probabilistische analyse met meenemen lagere voorlanden (STBI) (paragraaf 3.2.5)

Over deze onderwerpen en de uitwerking daarvan is in diverse overleggen met het Adviesteam Dijkontwerp van gedachten gewisseld.

3. Nadere analyse hoogte en stabiliteit in planuitwerkingsfase

3.1. Hoogte

De benodigde hoogte voor de dijk of een type I damwand wordt voor de dijken langs de Hollandsche IJssel volgens het wettelijk beoordelingsinstrumentarium (WBI) afgeleid met het rekenprogramma HydraNL. De uitgangspunten die hiervoor zijn gehanteerd zijn vastgelegd in de NOKU [6]. Bepalend hierin is de relatie met de sterkte van de dijk. Bij een heel brede dijk, zoals bij KIJK de dijkvakken met hoge en brede voorlanden, hebben golven nauwelijks negatief effect op de sterkte van de dijk. Deze golven worden dan niet meegenomen bij het bepalen van de benodigde dijkhoogte. Bij een dijk zonder voorland en een steil binnentalud zoals bij de meeste dijkvakken van KIJK kunnen overslaande golven de dijk ernstig verzwakken waardoor deze instabiel kan worden. De mate van golfoploop is dan bepalend voor de benodigde hoogte.

3.1.1. Onzekerheidstoeslag

In de probabilistische berekeningen met HydraNL wordt gerekend met onzekerheden. Voor de Hollandsche IJssel leidt het meerekenen van de onzekerheden in waterstand en golfgroei in HydraNL tot onrealistisch hoge waarden. Op advies van de Helpdesk Water, waaraan vragen vanuit het WBI kunnen worden voorgelegd, is daarom een onzekerheidstoeslag gehanteerd gelijk aan de decimeringshoogte [8]. Dat is het verschil tussen het HBN (Hydraulisch Belasting Niveau, lees de benodigde kruinhoogte) bij de norm en het HBN bij een 10 keer zwaardere norm. Dat gaf een gemiddelde daling van 0,25 m van de ontwerphoogte, zie tabel 3.

Dijkvak	Ontwerphoogte start planuitwerking [m NAP]	Ontwerphoogte vergunningenontwerp [m NAP]	VKV	DO/ vergunningen ontwerp
A	3,70	3,20	grond	grond
B	3,55	3,20	maatwerk	grond met type II
C	3,85	3,55	type I	type I
D	3,80	3,60	maatwerk	grond met type II
E	3,85	3,70	type I	type I
F	3,70	3,70	type I	type I
G	3,75	3,35	maatwerk	grond met type II
H	3,80	3,55	type I	type I
I1	3,75	3,40	maatwerk	grond met type II
I2	3,60	3,30	voorland	voorland
J	3,80	3,65	type I	type I
K1	3,60	3,60	maatwerk	type I
K2	3,65	3,50	maatwerk	type I
L	4,15	3,55	type I	type I
M1	3,90	3,75	type I	type I
M2	3,80	3,60	type I	type I
M3	3,65	3,40	grond	grond
N	3,45	3,25	grond	grond met type II
O	3,65	3,55	type I	type I
P	3,45	3,20	voorland	voorland
Q	3,85	3,65	type I	type I
R	3,55	3,40	type I	type I

S	3,55	3,30	voorland	voorland
T	3,75	3,40	voorland	voorland
U1	3,85	3,75	type I	type I
U2	4,05	3,80	type I	type I
V	3,55	3,45	type I	type I
W	3,55	3,35	maatwerk	geen opgave

Tabel 3 Ontwerphoogte volgens begin Planuitwerkingsfase en voor vergunningenontwerp

Uit tabel 3 is af te lezen dat met de aanpassing van de onzekerheidstoeslag voor acht extra vakken de hoogte-opgave komt te vervallen, de groene vakken in de tabel, kolom 3.

3.2. Stabiliteit

Het belangrijkste faalmechanisme voor de dijk langs de Hollandsche IJssel is stabiliteitsverlies. De volgende aanscherpingen zijn onderzocht:

3.2.1. Schematiseringsfactor

In stabiliteitsberekeningen wordt een schematiseringsfactor gehanteerd. Hiermee wordt uitdrukking gegeven aan de onzekerheid die resteert bij het schematiseren van het rekenprofiel. Voor de beoordeling van de berekende veiligheidsfactor (safetyfactor SF) wordt de benodigde veiligheidsfactor vermenigvuldigd met de schematiseringsfactor. De aangehouden schematiseringsfactor uit de verkenningsfase is 1,2. Deze waarde is verdedigbaar, maar hoog. Een verlaging van de schematiseringsfactor leidt direct tot een verlaging van de benodigde veiligheidsfactor waaraan de resultaten van semi-probabilistische stabiliteitsanalyses worden getoetst. Bij een schematiseringsfactor van 1,2 bedraagt de vereiste veiligheidsfactor 1,35. Bij een verlaging van de schematiseringsfactor naar 1,1 verlaagt de benodigde veiligheidsfactor naar 1,24.

De schematiseringsfactor wordt bepaald met de methode die is beschreven in het OI2014v4. Dit is uitgewerkt in de NOKU [6]. De waarde van de schematiseringsfactor voor KIIJK ligt overwegend tussen de 1,05 en 1,1. In de verdere beoordeling en ontwerp op stabiliteit is uitgegaan van een waarde voor de schematiseringsfactor van 1,1. Volgens tabel 2 voldoet dijkvak V daarmee ook aan de vereiste stabiliteit.

3.2.2. Grondsterkte

Een belangrijke parameter in het bepalen van de grondsterkte is de POP (Pre Overburden Pressure). Deze parameter is een maat voor de samenhang van de grond. Het beeld wisselt sterk per grondlaag. Dit was aanleiding om uit te gaan van WBI default waarden voor het ontwerp. De WBI default waarden zijn vastgelegd in de schematiseringshandleiding Macrostabiliiteit die hoort bij het WBI, en zijn opgenomen in de NOKU [6].

Voor het beter bepalen van de POP zijn een aantal tussenstappen uitgevoerd, die in het kader hieronder kort worden beschreven.

Uit een eerste beschouwing van dijkvak B was de conclusie dat de POP-waarden onder de kruin relatief laag waren (ordegrootte WBI default waarden) en in het achterland hoger (ordegrootte 40-50 kPa). In aanvulling hierop zijn ook de drie raaien uit de POVM publicatie [10] beschouwd, hieruit volgt een ander beeld:

- Over het algemeen zijn de POP waarden onder de kruin hoger dan in teen/achterland;
- De karakteristieke waarden van de POP in de kruin variëren van heel hoog (70 kPa) naar heel laag (0 kPa);
- De karakteristieke waarden in de teen / achterland zijn consistent, daar lijkt een karakteristieke POP waarde van 20 kPa wel realistisch. Dit is een wat hogere-POP waarde dan de WBI default waarden;
- De klei, antropogeen in het achterland geeft geen hoge POP-waarde (5 kPa karakteristiek).

Om in beeld te krijgen wat mogelijk hogere POP-waarden betekenen voor de berekende stabiliteit zijn gevoeligheidsanalyses gemaakt met verhoogde POP. De volgende varianten zijn beschouwd:

1. In teen/achterland een POP-waarde van 20 kPa. Vanwege de gevonden grote spreiding onder de kruin blijven hiervoor de WBI default-waarden geldig. Dat geldt ook voor de antropogene klei in het achterland.
2. De POP-waarden verhoogd met een factor 3.
3. De POP-waarden verhoogd met 10 kPa.

De varianten 2 en 3 zijn ingegeven door de vraag hoe hoog de POP zou moeten zijn om te voldoen aan de stabiliteitseis. Resultaat van deze analyses was dat voor de meeste vakken het effect te beperkt is om tot een voldoende stabiliteitsoordeel te komen. Maar voor enkele vakken, met een al relatief hoge stabiliteitsfactor, leiden deze varianten wel tot een voldoende stabiliteit.

Naar aanleiding van de resultaten van die analyse zijn de POP-waarden uit het beschikbare grondonderzoek nader beschouwd. Dit is beschreven in de memo Afleiding POP op basis van sonderingen [11]. Daarin is een gemiddelde karakteristieke POP-waarde in het achterland van 24,1 kPa bepaald. Net zo belangrijk is de constatering dat per dijkvak en zelfs per sondering grote verschillen optreden. Dit duidt erop dat de dijk veel zwakkere locaties kent.

De resultaten van deze aanpassing van de POP-waarde in het achterland (POP = 24,1 kPa) zijn opgenomen in tabel 4.

Dijkvak	Herberekend april 2021 op grote cirkels	Verhoogde POP 24 kPa achterland (bij MHW)	VKV
A	1,18	1,27	grond
B	0,94	1,10	maatwerk
C	1,11	1,10	type I
D	1,20	1,16	maatwerk
E	1,10	1,08	type I
F	0,83	..	type I
G	1,05	1,19	maatwerk
H	1,02	..	type I
I1	1,17	1,23	maatwerk
I2	1,19	..	voorland
J	1,04	1,13	type I
K1	1,12	1,26	maatwerk
K2	0,82	0,95	maatwerk
L	0,79	0,93	type I
M1	0,94	1,10	type I
M2 deel 1	0,82	1,04	type I
M2 deel 2	0,95	1,00	type I
M3	1,15	1,15	grond
N	0,87		grond
O1	0,90	0,91	type I
O2	0,92	1,10	type I
P	voorland
Q	0,83	0,97	type I
R	0,72	0,89	type I
S	0,90	1,00	voorland
T	1,03	1,07	voorland
U1	0,77	0,96	type I
U2	0,94	1,01	type I
V	1,26	1,32	type I
W1	1,56	1,56	maatwerk
W2	1,71	1,71	maatwerk

Tabel 4 herberekening dijkvakken met hogere POP achterland

De verhoogde POP waarden in het achterland geven de dijk meer sterkte, dat wordt uitgedrukt in hogere berekende stabiliteitsfactoren. Uit de resultaten in tabel 4 volgt dat de vakken A en K1 door te rekenen met de aanwezige verhoogde POP een voldoende stabiliteit hebben wanneer deze worden getoetst aan de in paragraaf 3.2.1 vermelde minimaal vereiste waarde van 1,24. Voor het oostelijke deel van vak K1 geldt dat de stabiliteit vergelijkbaar is met vak K2. Deze staat daarom in de eindtabel, tabel 7, als onvoldoende.

3.2.3. Restbreedte benadering

Vervolgens is in het kader van de aanscherping ook nog gekeken naar een uiterste restbreedte benadering. Dat wil zeggen dat gekeken is naar glijvlakken waar minder dan 1,5 m van de kruin resteert. Dit is verder uitgelegd in het rapport invloed systeemmaatregelen [3]. Het resultaat van de berekeningen met grote glijcirkels waarbij minder dan 1,5 m kruinbreedte resteert zijn weergegeven in tabel 5.

Dijkvak	Verhoogde POP 24 kPa achterland (bij MHW)	Restbreedte van 1,5 m	VKV
C	1,10	1,14	type I
D	1,16	1,74	maatwerk
E	1,08	1,14	type I
J	1,13	1,19	type I
K1	1,26	1,26	maatwerk
K2	0,95	0,95	maatwerk
L	0,93	1,16	type I
M1	1,10	1,10	type I
M2 deel 1	1,04	0,97	Type I
M2 deel 2	1,00	1,01	Type I
O1	0,91	0,96	type I
O2	1,10	1,1	Type I
Q	0,97	0,98	type I
R	0,89	0,89	Type I
S	1,00	1,01	voorland
T	1,07	1,23	Voorland
U1	0,96	0,92	type I
U2	1,01	1,17	Type I
V	1,32	1,39	Type I

Tabel 5 herberekening dijkvakken met hogere POP achterland en restbreedte

Voor bijna alle dijkvakken geeft dat weinig verschil in stabiliteit met de berekeningen uit paragraaf 3.2.2, alleen voor dijkvak D maakt [het dat](#) veel uit. Hierbij wordt opgemerkt dat bij een restbreedte van 1,5 meter het zeer twijfelachtig is of de dijk voldoende reststerkte overhoudt. In de schematiseringhandleiding macrostabiliteit wordt dat namelijk alleen gehanteerd bij kleidijken met een overslagdebiet kleiner dan 1 l/s/m. De Hollandsche IJsseldijk heeft in veel gevallen een toplaag van puin in plaats van klei en het ontwerpoverslagdebiet is 5 l/s/m. In het vergunningenontwerp is daarom wel een versterkingsvoorstel opgenomen voor dijkvak D.

In de verdere uitwerking voor het vergunningenontwerp is de samenhang met de hoogteopgave bekeken. Gebleken is dat de dijk zeer gevoelig is voor infiltratie via het droge dijktaalud (bovenkant buitentalud en binnentalud). Dit is nader uitgelegd in het rapport Invloed systeemmaatregelen [3]. Bij extreme neerslag of bij een te grote kans op overslag op de dijk door golven blijft er een opgave, ook als de stabiliteit zonder volledige verzadiging van de dijk voldoet. In de probabilistische berekeningen wordt de kans op verzadiging door overslag op een zuivere manier meegenomen.

3.2.4. probabilistisch rekenen

De meest gangbare manier van beoordelen van de stabiliteit van een dijk is met een semi-probabilistische berekening. Daarbij wordt uitgegaan van vaste laagkarakteristieke waarden van de grondsterkte en van de waterstand bij norm op het buitenwater en daarmee samenhangende schematisering van de freatische waterstand in de dijk. Het resultaat van de berekening is een stabiliteitsfactor. Bij een probabilistische berekening wordt de kansverdeling van de buitenwaterstand en de spreiding van de sterkte van grond expliciet meegenomen in de berekening. Het resultaat van de berekening is dan een faalkans (kans op afschuiven van de dijk). Deze faalkans wordt ten behoeve van de leesbaarheid veelal uitgedrukt met de zogenoemde betrouwbaarheidscoëfficiënt β .

Binnen de POVM zijn op het traject van de dijk langs de Hollandsche IJssel aan de zijde van de Krimpenerwaard drie probabilistische berekeningen uitgevoerd, waarvan twee op het traject van KIJK. In de verkenningsfase van KIJK zijn daar nog negen aanvullende sommen voor gemaakt [12]. Gemiddeld gaven de resultaten van die probabilistische berekeningen een wat positiever beeld voor stabiliteit dan volgde uit de semi-probabilistische sommen.

Op basis van de aanbevelingen van de commissie MER zijn in de planuitwerkingsfase aanvullende probabilistische berekeningen gemaakt op dezelfde doorsneden als waarvoor de semi-probabilistische berekeningen zijn gemaakt. De uitgangspunten voor deze berekeningen zijn vastgelegd in de memo Probabilistische analyse KIJK [13]. In deze memo zijn ook de eerste 4 nieuwe berekeningen opgenomen, waarin nog werd gerekend met een iets hogere POP waarde van 24,9 dan uiteindelijk in de memo Afleiding POP op basis van sonderingen [11] is bepaald.

Voor 12 dijkvakken zijn nieuwe probabilistische analyses uitgevoerd. Gekozen is om vooral de dijkvakken probabilistisch door te rekenen die in de semi-probabilistische benadering volgens tabel 4 een relatief hoge stabiliteitsfactor hadden. Voor deze dijkvakken is de kans het grootst om met de probabilistische benadering een voldoende stabiliteit te berekenen. Dijkvak U1 was hierop een uitzondering om ook te kijken wat het effect kan zijn bij een dijkvak met een lage stabiliteit. De resultaten zijn samengevat in tabel 6.

Dijkvak	SF berekend	β	β zonder kans op overslag
A	1,265	5,25	5,42
B	1,102	4,07	
C	1,096	3,64	
D	1,159	4,57	
E	1,075	3,59	
G	1,189	5,09	5,10
I1	1,227	5,31	5,70
J	1,125	4,04	4,92
M2	1,026	2,32	
M3	1,145	4,41	
U1	0,952	1,82	
V	1,319	5,54	5,69

Tabel 6 probabilistische analyses KIJK

De vereiste betrouwbaarheid β is 4,78. De groen gemarkeerde vakken voldoen bij toetsing aan dit probabilistisch criterium. Te zien is dat het resultaat van de probabilistische

berekeningen redelijk consistent is met het resultaat van de semi-probabilistische berekeningen. Vak A en vak V voldoen probabilistisch, maar die voldeden semi-probabilistisch ook al. Alleen de vakken G en I1 voldoen probabilistisch terwijl deze vakken semi-probabilistisch (net) niet voldeden. In het geval dat de kans op verzadiging door overslag wordt uitgesloten kan vak J daaraan worden toegevoegd.

Dijkvak G en I1 zijn maatwerklocaties. Uit bovenstaande tabel blijkt dat er geen stabiliteitsopgave is, maar in beide dijkvakken is nu voorzien dat er over een deel van het dijkvak een type II nodig is. Dit verschil wordt verklaard doordat in de semi-probabilistische stabiliteitsberekeningen de dijk niet voldoet aan stabiliteitseis. In de ontwerpmethodiek is uitgegaan van semi-probabilistisch ontwerpen, vandaar dat er nog een opgave is die is meegenomen in het vergunningenontwerp.

Op advies van het Adviesteam Dijkontwerp zijn deze analyses vergeleken met de eerder uitgevoerde probabilistische analyses van de POVM en de probabilistische analyses uit de verkenningsfase van KIJK, die gemiddeld een hogere berekende betrouwbaarheid lieten zien. Daarvoor is een som vergeleken die ongeveer op dezelfde locatie was uitgevoerd. De verschillen blijken niet goed te duiden om de volgende twee redenen: verschillen in gebruikte software (hierin heeft een grote doorontwikkeling in plaatsgevonden) en verschillen in afleiding van grensspanningen. Daardoor kon geen goede vergelijking worden uitgevoerd. Daarnaast is wel geconstateerd dat er andere uitgangspunten (laagopbouw, schematisering waterspanningen en POP-waarden) zijn toegepast wat logischerwijze ook leidt tot andere probabilistische resultaten [14].

3.2.5. Probabilistische analyse met meenemen lagere voorlanden

Voor de hooggelegen en brede voorlanden van KIJK is evident dat deze voldoende veiligheid geven omdat deze hoger liggen dan de waterstand bij normomstandigheden. In de POV Voorlanden [15] is geconstateerd dat ook lagere voorlanden, die bij de normwaterstand (ruim) onder water staan, een belangrijke bijdrage aan de dijkveiligheid kunnen leveren. Voor de voorland-dijkvakken 3, 4 en 7, met een kleine kans op water op het voorland, is door middel van probabilistische berekening aangetoond dat deze met de aanwezigheid van het voorland voldoen. Deze analyses zijn toegelicht in het rapport Probabilistisch onderzoek stabiliteit voorlanden [16].

Daarmee voldoen alle genummerde voorlandvakken binnen KIJK aan de veiligheidsnorm en is hiervoor geen fysieke verbetermaatregel nodig. Hetzelfde geldt voor vak I2.

3.3. Maatwerkdijkvakken en maatwerklocaties.

Op een aantal locaties met voorland, lokale overdimensionering van het dijkprofiel en/of grote op- en afritten (waardoor lokaal de stabiliteit van de dijk hoger is) is in de planuitwerking de opgave verminderd of zelfs vervallen. De opgave is vervallen bij dijkvak W (vervallen hoogte-opgave door voorland en aangescherpte hoogteopgave, zie par 3.1), het meest noordelijke deel van dijkvak M2 (overdimensionering dijkprofiel), noordelijk deel van dijkvak G (3D-werking door hoog voorland in combinatie met brede afrit) en dijkvakovergang E-2 (binnendijkse afrit in vak E op de overgang naar voorland-vak 2). Voor verdere toelichting wordt verwezen naar de notitie DO [18] en de daarin vermelde referenties naar onderliggende notities.

3.4. Adviesteam Dijkontwerp

Gedurende de planuitwerking is er een aantal momenten van overleg geweest met het Adviesteam Dijkontwerp. De uitwerking van de nadere analyse op hoogte en stabiliteit, zoals beschreven in dit hoofdstuk, is mede gebaseerd op inzichten en suggesties die op deze momenten van overleg zijn besproken.

Specifiek aandachtspunt dat door het Adviesteam is meegegeven betreft het beschrijven van de combinatie van gebeurtenissen die nodig zijn om een overstroming te krijgen. Een afschuiving van een deel van de dijk leidt bij deze dijk met kruinbreedte van 5 à 6 meter nog niet persé tot een doorbraak met een overstroming als gevolg. Daarvoor is bijvoorbeeld een tweede afschuiving nodig. In het nieuwe Wettelijk Beoordelings-instrumentarium 2023 (BOI, Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium) krijgt verdere uitwerking van de kans op opeenvolgende schade aan de dijk een expliciete plek in de beoordeling. Door het Adviesteam is hieraan gerefereerd. Dit aandachtspunt is beschouwd door de binnenwaartse stabiliteit te beoordelen voor grote cirkels die tenminste 2 meter vanaf de binnenkruinlijn in de kruin insnijden. Daarnaast zijn aanvullende analyses gemaakt voor 1,5 meter resterende kruinbreedte, zie tabel 5. In paragraaf 3.5 is dit onderwerp verder beschouwd aan de hand van onzekerheden die niet allemaal in de berekeningen zijn meegenomen, maar een belangrijke rol spelen in de kans op overstroming door falen van de dijk.

Een ander specifiek aandachtspunt was de mogelijke bijdrage van de situatie gesloten HIIK op het waterpeil. Dat is nader beschouwd in de notitie Systemanalyse: invloed situatie terecht open HIIK [9]. Geconcludeerd is dat de opgave voor hoogte volledig wordt gedomineerd door een falende HIIK bij een faalkans van 1:1.500 per jaar. Die conclusie geldt ook voor een faalkans van 1:2.000 per jaar.

3.5. Nadere beschouwing van onzekerheden

Voor elke modelberekening geldt dat deze een vereenvoudiging van de werkelijkheid is. De kunst is om deze zo goed mogelijk te laten aansluiten op de werkelijke situatie. Daarbij spelen onzekerheid in schematisering, parameters, (hydraulische) belastingmodellen en mate waarin het rekenmodel de werkelijkheid beschrijft een rol. Gedurende het beoordelings- en ontwerpproces in de planuitwerking zijn onzekerheden en onzekerheidsmarges verkleind en daarmee is de versterkingsopgave geoptimaliseerd. Niettemin geeft het resultaat van de stabiliteitsberekeningen aan dat voor veel vakken de stabiliteit niet de betrouwbaarheid heeft die hoort bij de wettelijke norm. De HIIK ondervangt dit niet omdat de faalkans daarvan ook na de voorgenomen verbeteringen te hoog blijft.

Verkleinen van onzekerheden door gebruik te maken van de bewezen sterkte van de dijk biedt onvoldoende houvast voor verdere aanscherping van de opgave. Weliswaar is het verschil tussen voorgekomen extreme waterstanden en de normwaterstand voor deze dijk relatief klein, maar gegeven de resultaten van de stabiliteitsanalyses en de relatief grote kans op verzadiging van de dijk is dit verschil teveel om toepassen van bewezen sterkte kansrijk te maken.

4. Veiligheidsopgave KIIK

Aan het begin van de planuitwerkingsfase was het beeld dat er een grote hoogte- en stabiliteitsopgave is voor de dijk langs de Hollandsche IJssel langs de Krimpenerwaard. Mede naar aanleiding van de aanbevelingen van de commissie MER zijn aanvullende analyses en onderzoeken uitgevoerd die in deze notitie zijn beschreven. Dit heeft geleid tot enige verkleining van de hoogte- en stabiliteitsopgave.

In tabel 7 is de resulterende opgave samengevat zoals beschreven in de vergunningenontwerp [18].

Dijkvak	Hoogte	Stabiliteit	DO
A	o	v	grond
B	v	o	grond met type II
C	v	o	type I
D	v	o	grond met type II
E	o	o	type I
F	o	o	type I
G	v	o	grond met type II
H	o	o	type I
I1	v	o	grond met type II
I2	v	o	voorland
J	o	o	type I
K1	v	o	type I
K2	o	o	type I
L	o	o	type I
M1	o	o	type I
M2	o	o	type I
M3	v	o	grond
N	v	o	grond met type II
O1	o	o	type I
O2	o	o	type I
P	v	o	voorland
Q	o	o	type I
R	v	o	type I
S	v	o	voorland
T	v	o	voorland
U1	o	o	type I
U2	o	o	type I
V	o	v	type I
W1	v	v	geen opgave
W2	v	v	geen opgave

Tabel 7 Veiligheidsopgave KIIK in het DO (v is voldoende, o is onvoldoende)

Opgemerkt wordt dat de opgave volgens deze tabel licht verschilt van de opgave volgens tabel 5.1 uit het rapport 'Invloed systeemmaatregelen Hollandsche IJssel op versterking van de KIIK-dijk' [3]. Dat komt doordat er na gereed komen van dat rapport nog aanvullende analyses zijn uitgevoerd waardoor bijvoorbeeld de hoogteopgave bij dijkvak B is komen te vervallen. In de vakken B en N is aanvullend aan de grondoplossing een type II benodigd.

Op basis van de uitkomsten van de berekeningen en de overwegingen in deze notitie blijft de conclusie dat de dijk langs de Hollandsche IJssel langs de Krimpenerwaard over grote lengte niet voldoet aan de wettelijke norm. In de notitie systeemmaatregel is al geconcludeerd dat verdergaande systeemmaatregelen niet als reële mogelijk worden voorzien om deze opgave verder te verkleinen.

4.1. Gehanteerde uitgangspunten vergunningenontwerp

De uitgevoerde aanscherpingen die in deze notitie zijn beschreven hebben geleid tot aangepaste uitgangspunten. Deze zijn hieronder opgesomd. Deze aanpassingen zijn ook doorgevoerd in de NOKU [6]. De aangepaste Notitie ontwerpeisen, kaders en uitgangspunten behorende bij het Definitief Ontwerp (vergunningenontwerp) is als bijlage 1 aan deze notitie toegevoegd. Hierin staan alle uitgangspunten voor het vergunningenontwerp waaronder belangrijke uitgangspunten zoals klimaatscenario, gehanteerd overslagdebiet, freatische grondwaterstanden, sterkteparameters en faalkansbegroting volgens het WBI2017.

De aangepaste uitgangspunten in de planuitwerkingsfase die in deze notitie zijn opgenomen zijn:

Algemeen

Zichtjaren / levensduur	Hoogte	Stabiliteit
Grondoplossing (met hulpconstructie)	2045 (20 jaar)	2075 (50 jaar)
Zelfstandig kerende constructie	2075 (50 jaar)	2125 (100 jaar)

Bepaling hydraulisch belasting niveau

- Hydra-NL 2.8.2
- Faalkans stormvloedkering 1:1500 in 2030 en 1:2000 in 2050
- Één decimeringshoogte als onzekerheidstoetslag

Bepaling stabiliteit

- D-Stability v21.01
- Schematiseringsfactor 1,1
- POP kruin van de dijk WBI default waarde
- POP in het achterland = 24,1 kPa, met uitzondering van antropogene klei

Referenties

- [1] Toetsverslag primaire waterkeringen, Toetsing 2010 Dijkkring 14 en Dijkkring 15, versie 1.2, 8 september 2010
- [2] Consequentieanalyse Dijkversterking Krachtige IJsseldijken Krimpenerwaard, versie 02, 13 mei 2016
- [3] Invloed systeemmaatregelen Hollandsche IJssel op versterking KIIJK-dijk, versie 1.0, 12 juli 2022
- [4] Notitie Multi-Criteria Analyse, Bijlage Eindrapport Verkenning KIIJK, 28 maart 2018 definitief 1.0
- [5] Systeemanalyse Hollandsche IJssel, april 2019
- [6] Notitie Ontwerpeisen, kaders en uitgangspunten Planuitwerking, versie 1.0, 10 december 2019
- [7] Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid
- [8] Antwoord op uw vraag aan de Helpdesk Water met vraagnummer 21 05 2366, 9 juli 2021
- [9] Systeemanalyse: invloed situatie terecht open HIIJK, juli 2022
- [10] POV-M Beter benutten Actuele Sterkte KIIJK, Activiteit 6 – Faalkans updating 3 cases, april 2017
- [11] Kijk notitie POP op basis van sonderingen, 25 augustus 2022
- [12] Actuele sterkte – probabilistische stabiliteitsanalyses, 2 oktober 2017
- [13] Probabilistische analyse KIIJK, Bijlage probabilistische berekeningen, 15 juli 2021
- [14] Conclusie vergelijking probabilistisch POVM som dijkvak 1, 20 april 2022
- [15] Quickscan Veiligheidsanalyse Hollandsche IJssel, februari 2019
- [16] Probabilistisch onderzoek stabiliteit voorlanden, versie 2.0, 19 april 2022
- [17] POVM Infiltratieproef II, Analyse Infiltratieproef IJsseldijk, versie 03, oktober 2018
- [18] Notitie Definitief Ontwerp (DO), versie 12.0, 25 mei 2022