



ILT Inspectie Leefomgeving en Transport



Datum	26 februari 2018
Öns kenmerk	
Doorkiesnr.	
Onderwerp	Rapportage veiligheidsbeoordeling dijktraject 36-2, Cuijk- Ravenstein

Geachte 

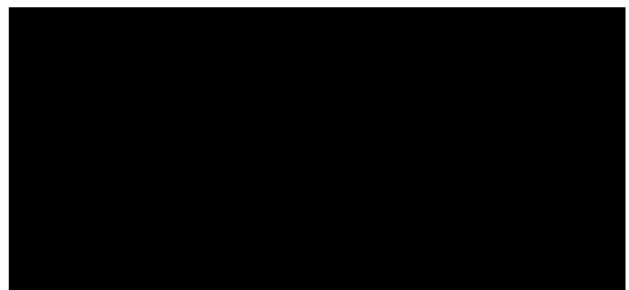
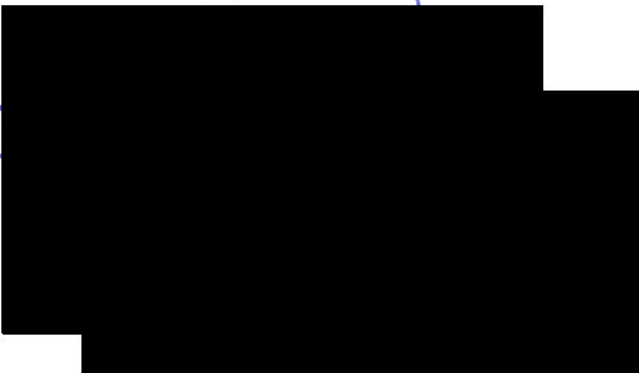
Als beheerder van primaire waterkeringen langs de Maas, heeft waterschap Aa en Maas een wettelijke verplichting om de waterstaatkundige toestand van hun keringen te beoordelen en hierover verslag uit te brengen.

Hierbij bieden wij u de bestuurlijk vastgestelde rapportage aan van dijktraject 36-2, gelegen langs de Maas tussen Cuijk en Ravenstein.

Wij vertrouwen erop hiermee een belangrijke bijdrage te hebben geleverd aan uw rapportage aan de Minister van Infrastructuur en Waterstaat.

Het Dagelijks Bestuur voornoemd,

de dijkgraaf,



Rapportage Veiligheidsbeoordeling

Dijktraject 36-2

Cuijk-Ravenstein



's-Hertogenbosch Februari 2018

Definitief versie 1.0

Inhoudsopgave

1.1	Leeswijzer.....	6
1.2	Algemene uitgangspunten en randvoorwaarden	7
1.2.1	Beschrijving traject.....	7
1.2.2	Hydraulische belasting.....	8
1.2.3	Veiligheidsnormen	8
1.2.4	Veiligheidsnorm per faalmechanisme en per vak	9
1.2.5	Stabiliteit steenzetting.....	11
1.2.6	Niet beschouwde toetsporen.....	11
1.2.7	Veiligheidsoordeel	11
1.2.8	Veiligheidsoordeel dijktraject	12
Hoofdstuk 2	Grasbekleding erosie buitentalud	14
2.1.1	Uitgangspunten GEBU	15
2.1.2	Trajectbeschrijving GEBU.....	15
2.1.3	Vakindeling GEBU	15
2.2	Veiligheidsoordeel GEBU	16
2.2.1	Gevoeligheid resultaten GEBU	17
2.2.2	Duiding.....	17
Hoofdstuk 3	Grasbekleding afschuiven buitentalud	18
3.1.1	Uitgangspunten GABU	19
3.1.2	Trajectbeschrijving GABU.....	19
3.1.3	Vakindeling GABU	19
3.2	Veiligheidsoordeel GABU	19
3.2.1	Gevoeligheid resultaten GABU	21
3.2.2	Duiding.....	21
Hoofdstuk 4	Grasbekleding erosie kruin en binnentalud.....	22
4.1.1	Uitgangspunten GEKB.....	23
4.1.2	Trajectbeschrijving GEKB	23
4.1.3	Vakindeling GEKB	23
4.2	Veiligheidsoordeel GEKB.....	24
4.2.1	Toepassingscriteria GEKB.....	25
4.2.2	Veiligheidsoordeel GEKB.....	26
4.2.3	Gevoeligheid resultaten GEKB	28
4.2.4	Duiding.....	29
Hoofdstuk 5	Grasbekleding afschuiven binnentalud	30
5.1.1	Uitgangspunten GABI	31
5.1.2	Trajectbeschrijving GABI	31
5.1.3	Vakindeling GABI.....	31
5.1.4	Beoordeling microstabiliteit (STMI)	31
5.2	Veiligheidsoordeel GABI.....	32
5.2.1	Gevoeligheid resultaten GABI.....	34
5.2.2	Duiding.....	34
Hoofdstuk 6	Piping.....	35

6.1.1	Uitgangspunten STPH	36
6.1.2	Trajectbeschrijving STPH	36
6.1.3	Vakindeling STPH.....	37
6.2	Veiligheidsoordeel STPH.....	38
6.2.1	Beoordeling STPH.....	38
6.2.2	Gevoeligheid resultaten STPH.....	40
6.2.3	Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling STPH	42
Hoofdstuk 7	Macrostabieleit binnenwaarts.....	44
7.1.1	Uitgangspunten STBI.....	45
7.2	Trajectbeschrijving STBI	45
7.2.1	Vakindeling STBI	45
7.2.2	Hydraulische belastingen STBI.....	45
7.3	Veiligheidsoordeel STBI	46
7.3.1	Resultaten STBI.....	47
7.3.2	Gevoeligheid resultaten STBI	47
7.3.3	Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling STBI.....	48
Hoofdstuk 8	Macrostabieleit buitenwaarts.....	49
8.1.1	Resultaten STBU	50
8.1.2	Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling STBU	50
Hoofdstuk 9	Kunstwerken	51
9.1	Uitgangspunten Kunstwerken	51
9.2	Kunstwerken binnen traject 36-2	52
9.3	Veiligheidsoordeel kunstwerken	52
9.3.1	Resultaten kunstwerken.....	53
9.3.2	Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling Kunstwerken	54
9.3.3	Gemaal van Sasse	55
9.3.4	Vestingmuren Grave.....	55
Hoofdstuk 10	Indirecte toetssporen	57
10.1	Voorland toetssporen.....	57
10.2	Niet waterkerende objecten	57
Hoofdstuk 11	Veiligheidsoordeel 36-2	58
11.1	Duiding beoordelingsresultaat traject 36-2.....	58
Hoofdstuk 12	Beheersmaatregelen	62
Hoofdstuk 13	Referentielijst	63
A.	Validatiematrix eisen ILT.....	65
B.	Achtergrondrapport grasbekleding erosie buitentalud	66
C.	Achtergrondrapport gasbekleding afschuiven buitentalud	67
D.	Achtergrondrapport gras erosie kruin en binnentalud	68
E.	Achtergrondrapport grasbekleding afschuiven binnentalud	69
F.	Achtergrondrapport piping	70

G.	Achtergrondrapport macrostabiliteit	71
H.	Achtergrondrapport Kunstwerken	72
I.	Beoordeling gemaal van Sasse	73
J.	Veiligheidsanalyse kademuren Grave	74

Samenvatting

Waterschap Aa en Maas is verantwoordelijk voor het beoordelen van de primaire waterkeringen in haar beheergebied. De Waterwet bepaalt dat de veiligheid van alle primaire waterkeringen elke twaalf jaar moet worden beoordeeld.

Dit rapport beschrijft het veiligheidsoordeel voor de primaire waterkeringen van het dijktraject 36-2 (Land van Heusden - de Maaskant 2) op basis van het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017 (WBI2017). De peildatum voor deze beoordeling is 1 januari 2023.

Het veiligheidsoordeel voor traject 36-2 wordt bepaald door de combinatie van beoordelingen van alle dijkvakken en de kunstwerken. Per beoordeeld vak en kunstwerk is per toets spoor een oordeel bepaald.

Het **veiligheidsoordeel voor dijktraject 36-2**, Land van Heusden-de Maaskant 2 is **categorie D** en voldoet daarmee ruim niet aan de ondergrens.

De relatief grote afstand tot de norm wordt voor dijktraject 36-2 bepaald door een combinatie van faalmechanismen die niet voldoen aan de gestelde ondergrens in de norm. Voor het faalmechanisme piping wordt de grootste afstand tot de norm gevonden maar ook voor macrostabiliteit en graserosie op de kruin en het binnentalud is een relatief hoge faalkans t.o.v. de gestelde norm berekend.

Er zijn verschillende achterliggende oorzaken die hieraan debet zijn, de belangrijkste is echter de normsprong die het dijktraject maakt t.o.v. de norm die tot 1 januari 2017 gold. De waterstanden die met het WBI worden berekend bij de nieuwe norm liggen in de orde grootte 0,5 - 1,0 meter hoger dan de waterstanden behorende bij de norm tot 1 januari 2017. De bestaande dijken zijn hier in het verleden niet op ontworpen en aangelegd. Naast de hogere maatgevende waterstanden zijn ook de eisen die aan de dijk worden gesteld aanzienlijk hoger. Kortom, het lag in de lijn der verwachting dat dijktraject 36-2 niet aan de norm zou voldoen, deze veiligheidsbeoordeling conform het WBI 2017 heeft dit beeld bevestigd en onderbouwd.

Inleiding

Dit rapport beschrijft het veiligheidsoordeel voor de primaire waterkeringen van het dijktraject 36-2 (Land van Heusden - de Maaskant 2) op basis van het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017 (WBI2017).

Als beheerder van primaire waterkeringen heeft Waterschap Aa en Maas de wettelijk plicht om deze veiligheidsbeoordeling uit te voeren. Het waterschap is verantwoordelijk voor het tijdig aanleveren van de resultaten van de veiligheidsbeoordeling aan de toezichthouder, de Inspectie voor Leefomgeving en Transport (ILT).

De wijziging van de Waterwet begin 2017 en de bijbehorende nieuwe overstromingskansbenadering brengt de nodige veranderingen met zich mee voor veiligheidsbeoordeling van de primaire waterkeringen. Daarnaast zijn er nieuwe inzichten in de faalmechanismen rond de stabiliteit van de waterkering (macrostabiliteit en piping).

Voor traject 36-2 betekent dat deze veranderingen, in combinatie met de relatief zware nieuwe norm (signaleringswaarde van 1/30.000 per jaar), naar verwachting leiden tot een resultaat met een ander veiligheidsbeeld dan de voorgaande toetsrondes. Ook op basis van de VNK2-studie wordt een aanzienlijke afstand tot de norm ingeschat.

Traject 36-2 viel net buiten de lijst met urgente trajecten die in 2015 zijn geselecteerd op afstand tot de norm op basis van de VNK2-resultaten. Het traject is qua norm, type dijk en ondergrond zeer vergelijkbaar met het aangrenzende traject 36-3 dat wel is opgenomen in de lijst van urgente trajecten en middels het filter op traject niveau is beoordeeld in 2017.

Waterschap Aa en Maas beschouwt 36-2 dan ook als een urgent traject voor de beoordeling en verwacht dat er een verbeteropgave ligt en wil dit traject daarom zo snel als mogelijk aanmelden voor het hoogwaterbeschermingsprogramma. De aanmelding bij het HWBP is in 2019 voorzien.

Vanwege deze hoge prioriteit is in de aanpak van de beoordeling gekozen om de dominante faalmechanismen gedetailleerd te beoordelen en op basis van de resultaten van deze mechanismen te concluderen of tot een stabiel veiligheidsoordeel kan worden gekomen. Bij een aantal sporen zijn ook gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, voor STPH (piping) een zeer uitgebreide. De gevoeligheidsanalyses hebben als doel om tot een stabiel veiligheidsoordeel te komen en inzicht te verschaffen in de invloed van aannames en parameters. Naast een stabiel veiligheidsoordeel is ook een zo volledig mogelijk veiligheidsoordeel voor dijktraject 36-2, dit wil zeggen alle relevante sporen zijn beschouwd middels de WBI-methode.

De beoordelingsprocedure bestaat uit het uitvoeren van achtereenvolgens een eenvoudige toets, een gedetailleerde toets en/of een toets op maat conform het WBI 2017. Deze zijn, indien van toepassing, per toetsspoor uitgewerkt en beschreven.

Naast STPH zijn de bekledingssporen GEKB, (gras erosie kruin binnentalud), GEBU (grasbekledig erosie buitentalud), GABI (grasbekleding afschuiven binnentalud) en GABU (grasbekleding afschuiven buitentalud) beschouwd.

Voor macrostabiliteit binnen en buitenwaarts zijn gedetailleerde sommen gemaakt en is een bandbreedte in beeld gebracht, echter niet met de WBI-software BM macrostabiliteit daar deze software nog niet optimaal werkt. Ook is een uitgebreide beoordeling van de kunstwerken uitgevoerd, echter niet met de software Riskeer.

Voor de vestingmuur in Grave, die fungeert als hoogwaterkering, is een toets op maat uitgevoerd. De constructie is beschouwd als een langsconstructie. Bij de overige toetssporen zal niet op dit deel van het traject worden ingegaan. Bij de kunstwerken staat een samenvatting van de veiligheidsbeoordeling van de vestingmuren, in bijlage J is een uitvoerige veiligheidsbeschouwing opgenomen.

Op basis van de uitkomsten van de hierboven genoemde toetssporen zijn de indirecte sporen niet of slechts kwalitatief beschouwd op basis van de resultaten uit de voorgaande toetsrondes.

Belangrijk uitgangspunt in de aanpak is dat aanvullende informatie of berekeningen niet leiden tot een ander resultaat van de beoordeling voor het traject.

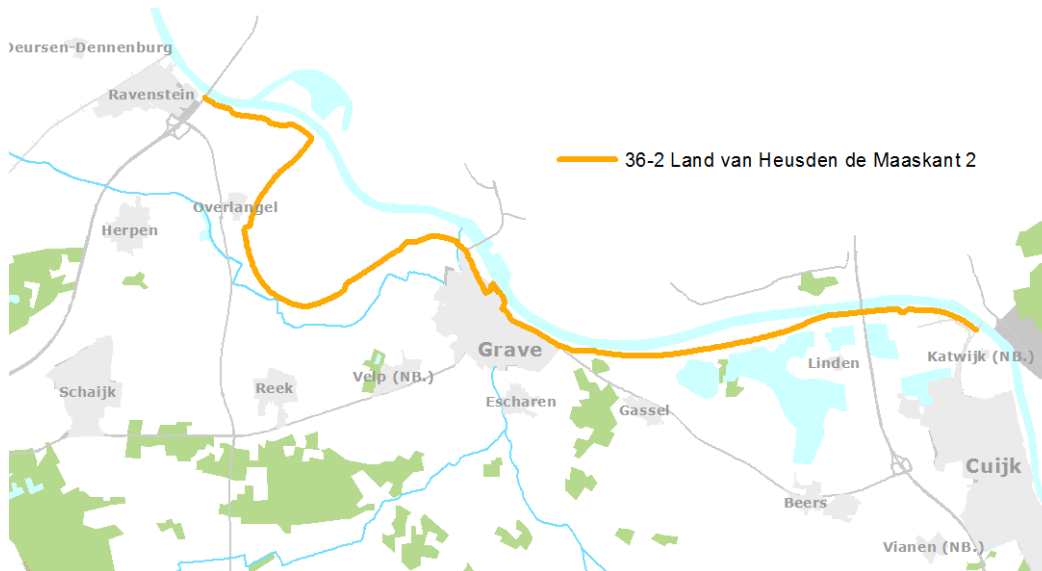
1.1 Leeswijzer

De rapportage van de beoordeling van normtraject 36-2 bestaat uit een hoofdrapport en een bijlage. De bijlage bestaat uit een aantal logboeken en achtergrondrapporten. Dit rapport is het hoofdrapport waarin per toetsspoor een beschrijving van het mechanisme, de bijbehorende uitgangspunten, de vakindeling, de resultaten met een gevoeligheidsanalyse en een duiding zijn beschreven. Hierna volgt een hoofdstuk waarin het trajectoordeel wordt beschreven en de rapportage wordt afgesloten met een beschrijving van de beheermaatregelen.

1.2 Algemene uitgangspunten en randvoorwaarden

1.2.1 Beschrijving traject

Dijktraject 36-2, Land van Heusden de Maaskant 2, bestaat uit de dijken en de daarin gelegen kunstwerken aan de zuidzijde van de Maas tussen Cuijk en Ravenstein.



Figuur :1 Dijktraject 36-2

Het dijktraject is een van de trajecten met de hoogste norm langs de Maas vanwege de gevolgen bij een dijkdoorbraak. Het gebied dat overstroomt bij een doorbraak strekt zich uit tot en met 's-Hertogenbosch.

Langs het traject liggen een aantal kernen waarvan Cuijk en Grave de grootste zijn. In Grave bestaat de waterkering voor een belangrijk deel uit de vestingmuren die eind vorige eeuw zijn versterkt. Bij Grave ligt ook een van de stuwcomplexen met scheepvaartsluis die het peil op de Maas reguleren. Andere gebiedskenmerken zijn de Kraaijenbergse plassen, die zich vanaf de kruising met de snelweg A73 enkele kilometers naar het westen uitstrekken. De plassen zijn sinds de jaren zestig ontstaan door de winning van industriezand, grind en klei.

Het traject eindigt op het punt waar de snelweg A50 de Maas kruist, net ten oosten van Ravenstein.

Het gebied is door de bodemopbouw niet zettingsgevoelig, de waterkeringen en het omliggende maaiveld laten dan ook geen noemenswaardige klink of zettingen zien. De verwachte zetting tot aan peildatum (1 januari 2023) van deze beoordeling kan daarom als nihil worden gesteld.

De waterkeringen in het traject bestaan over het algemeen uit een grondlichaam met een grasbekleding. Op de kruin bevindt zich over een groot deel van het traject een asfaltweg.

In onderstaande tabel een aantal kenmerken van het traject zoals ook vastgelegd in de Waterwet.

Tabel 1: Kenmerken traject 36-2, Land van Heusden de Maaskant 2

<i>Naam dijktraject</i>	36-2, Land van Heusden/de Maaskant 2
<i>Signaleringswaarde</i>	1:30.000 per jaar
<i>Ondergrens</i>	1:10.000 per jaar
<i>Lengte</i>	21,0 km
<i>X_{begin}</i>	188281
<i>y_{begin}</i>	41848
<i>X_{eind}</i>	173995
<i>y_{eind}</i>	422801
<i>Dijkpaal start</i>	174
<i>Dijkpaal einde</i>	382

1.2.2 Hydraulische belasting

Om de beoordeling uit te kunnen voeren, zijn hydraulische belastingen nodig. Deze verschillen per toetspoot en bestaan uit combinaties van waterstanden en golfcondities. De wijze waarop de hydraulische belastingen worden bepaald, is per toetspoot en per mechanisme voorgeschreven in het WBI 2017 (Rijkswaterstaat, WVL, 2017). Het afleiden van de hydraulische belastingen is uitgevoerd met behulp van de WBI 2017-software op basis van ingevoerde schematiseringen en de norm of faalkanseis per vak. In deze software zijn daarvoor databases met waterstand- en golfstatistiek opgenomen. De databases met deze gegevens zijn aangeleverd door het Rijk via de Helpdesk Water. Omdat gedurende het beoordelingstraject verschillende versies van de databases (versie 1 t/m 3) beschikbaar zijn gekomen, zijn voor verschillende toetspooten verschillende databases gebruikt. Na controle is gebleken dat het gebruik van verschillende databases geen impact heeft op de beoordeling.

Voor de bovenrivieren (Maas) in Brabant, waar ook dijktraject 36-2 onderdeel van is, wordt in het WBI uitgegaan van de werkelijke dijkhoogten in de Maasvallei. De dijken in de Maasvallei in Limburg zijn daarmee als overstroombaar gemodelleerd bij hoge afvoeren.

1.2.3 Veiligheidsnormen

Dijktraject 36-2 was bij de oude normering conform de overbelastingsbenadering genormeerd met een 1:1.250 overschrijdingskans per jaar en maakte onderdeel uit van dijkkring 36 Land van Heusden de Maaskant. Op basis van de voorgaande toetsrondes (LTR3 en LTR3+) voldeed het traject op alle aspecten aan de norm van voor 1 januari 2017.

Met ingang van de nieuwe normering per 1 januari 2017 heeft het dijktraject 36-2 een norm die is opgebouwd uit een signaleringswaarde met een faalkans 1:30.000 per jaar en een ondergrens van 1:10.000 per jaar.

De signaleringswaarde is de overstromingskans van het dijktraject waarvan overschrijding gemeld moet worden aan de Minister (via de ILT). De ondergrens betreft de overstromingskans van het dijktraject die hoort bij het minimale beschermingsniveau dat de kering moet bieden. De waterkering moet aan de norm voldoen in 2050 en zal versterkt worden voordat de ondergrenswaarde wordt bereikt. Indien de waterkeringen niet voldoen aan de signaleringswaarde, moet tevens bij de minister worden aangegeven of ze nog wel voldoen aan de ondergrens.

1.2.4 Veiligheidsnorm per faalmechanisme en per vak

De beoordeling vindt plaats voor een aantal faalmechanismen en per vak. De wettelijke veiligheidsnorm is daarom vertaald naar een eis per toetsspoor per doorsnede en/of vak. De vertaalslag van de eis per dijktraject naar de eis per toetsspoor per doorsnede gebeurt in twee stappen (Deltares, 23 juni 2016):

Stap 1 - verdeling norm-kans over de toetssporen

In de eerste stap wordt de norm-kans van het dijktraject verdeeld over de diverse toetssporen. Deze verdeling is vastgelegd in de faalkansbegroting. Deze faalkansbegroting is binnen het WBI 2017 generiek opgesteld voor alle dijktrajecten.

De faalkansbegroting van dijktraject 36-2 staat in Tabel 2. De toegepaste faalkansruimte is conform de faalkansruimte voor een traject bestaande uit dijken en wordt toegepast in de WBI-software (Riskeer). Op voorhand is er geen reden om onderstaande faalkansruimte verdeling aan te passen. Op de mechanismen golfklappen op asfaltbekleding (AGK) en stabiliteit steenzetting (ZST) na, zijn de toetssporen niet uit te sluiten. Op basis van de resultaten kan worden bepaald of kan worden geoptimaliseerd. Bijvoorbeeld door de niet benutte faalkansruimte voor AGK en ZST te gebruiken voor een toetsspoor dat hierdoor een beter oordeel kan krijgen.

Tabel 2: Faalkansruimte verdeling 36-2

Toets spoor	Code	Faalkansruimte [-]
Hoogte kunstwerk of Grasbekleding erosie kruin en binnentalud*	HTKW GEKB	24%
Macrostabieliteit binnenwaarts	STBI	4%
Piping	STPH	24%
Grasbekleding erosie buitentalud	GEBU	5%
Overige bekledingen buitentalud: – Golfklappen op asfaltbekleding – Stabiliteit steenzetting	AGK ¹ ZST ²	5%
Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk	BSKW	4%
Piping bij kunstwerk	PKW	2%
Sterkte en stabiliteit puntconstructies	STKWp	2%
Overige toetssporen		30%
Totaal		100%

Stap 2 - vertaling faalkanseis dijktraject naar faalkanseis per doorsnede

In de tweede stap wordt, per toetsspoor, de faalkanseis van het dijktraject vertaald naar een faalkanseis per vak of per doorsnede. Deze vertaalslag is in het kader van het project WBI2017 generiek vastgesteld en is bepaald op basis van ervaringen ten aanzien van het lengte-effect.

Het lengte-effect is een maat om de onzekerheid uit te drukken in de variatie van de omstandigheden die van locatie tot locatie verschillen, bijvoorbeeld in de ondergrond, en het feit dat er niet van iedere locatie metingen zijn. Hierdoor is niet precies bekend waar in een dijktraject de zwakste schakel zit en hoe zwak de zwakste schakel precies is. Hoe langer de dijk, des te groter de kans op een relatief zwakke plek. Voor toetssporen waarvoor het lengte-effect klein is (bv. hoogte toets), betekent dit dat de faalkanseis per doorsnede relatief weinig verschilt van de faalkanseis per dijktraject. Voor toetssporen als piping geldt het tegenovergestelde.

Naast de toetssporen die in de faalkansbegroting zijn opgenomen, zijn er een aantal toetssporen waarvoor geen expliciete faalkansfactor beschikbaar is. Deze toetssporen vallen onder de categorie 'overige'.

De voorlandsporen worden gekenmerkt als indirecte toetssporen en zijn in deze veiligheidsanalyse kwalitatief beschouwd op basis van de resultaten uit de voorgaande toets rondes. Een indirect

¹ Zie toelichting in paragraaf 1.2.5

² Zie toelichting in paragraaf 1.2.6

toetsspoor is een toetsspoor dat niet direct leidt tot falen van de waterkering, maar de kans op falen door een direct toetsspoor vergroot. Deze toetssporen tellen niet mee met het veiligheidsoordeel.

1.2.5 Stabiliteit steenzetting

In het traject is op een aantal locaties steenbekleding. Onder een drietal bruggen en op een locatie in de jachthaven van Grave.

Onder de bruggen wordt de buitentaludbescherming gewaarborgd door de kleilaag onder de steenbekleding. De steenbekleding vervangt hier de grasmat omdat op deze locaties (onder bruggen) zich geen goede grasmat kan ontwikkelen. Daarbij kan gesteld worden dat het falen van de bekleding op het buitentalud op deze locaties niet leidt tot het falen van de waterkering door de aanwezigheid van landhoofdconstructies en het achterliggende grondlichaam van de rijbaan.

Verder is er op een locatie in de jachthaven de Kloppert in Grave over ca. 50 meter een steenbekleding aanwezig. Hier is sprake van een bijzondere situatie door een oplopend achterland. De beschouwing (toets op maat) hierover is opgenomen in bijlage J.

1.2.6 Niet beschouwde toetssporen

Een aantal toetssporen zijn voor dijktraject 36-2 niet beschouwd. Dit zijn de toetssporen golfklappen op asfaltbekleding (AGK), havendammen (HAV) en Technische innovatie (INN).

AGK

AGK is niet beschouwd vanwege de afwezigheid van asfalt als bekleding op het buitentalud in dijktraject 36-2. Hierbij dient opgemerkt te worden dat er tussen dijkpaal A254 en A265 een asfaltpad (fietspad) in het buitentalud ligt. Dit fietspad is aangelegd buiten de waterkering en de buitentaludbescherming wordt hier gewaarborgd door de kleilaag onder het fietspad.

HAV en INN

De toetssporen HAV en INN zijn niet beoordeeld omdat deze niet aanwezig zijn in dijktraject 36-2.

1.2.7 Veiligheidsoordeel

Het veiligheidsoordeel is bepaald per vak en per toetsspoor. Om te komen tot een oordeel voor het hele dijktraject dienen het veiligheidsoordeel per vak en per toetsspoor gecombineerd te worden. Dit is

gedaan conform het assemblageprotocol (Deltares, 23 juni 2016). Hiervoor worden twee stappen doorlopen:

1. De eerste stap is het combineren van de oordelen per vak tot een oordeel voor het hele dijktraject voor één faalmechanisme.
2. De tweede stap is het combineren van oordelen van alle relevante faalmechanismen tot een veiligheidsoordeel voor het dijktraject.

1.2.8 Veiligheidsoordeel dijktraject

Het veiligheidsoordeel van het dijktraject wordt uitgedrukt in vijf categorieën. Deze zijn gerelateerd aan de afstand van de berekende overstromingskans tot de wettelijke norm. De indeling in categorieën is getoond in Tabel 3.

Tabel 3: Categorieën van veiligheidsoordelen conform WBI2017

categorie	oordeel per dijktraject
A+	voldoet ruim aan de signaleringswaarde
A	voldoet aan de signaleringswaarde
B	voldoet aan de ondergrens, maar niet aan de signaleringswaarde
C	voldoet niet aan de ondergrens
D	voldoet ruim niet aan de ondergrens

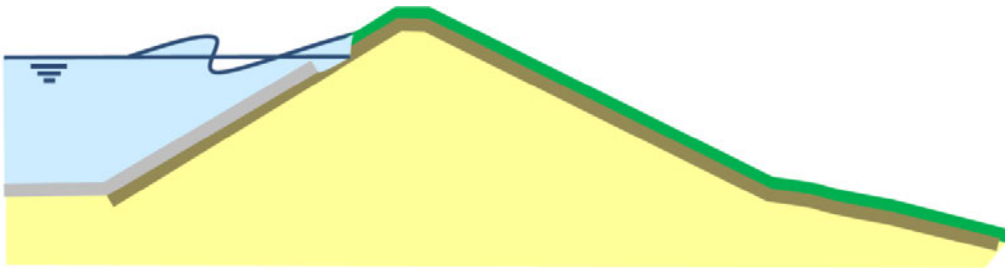
De categorieën van Tabel 3, zoals gedefinieerd voor dijktrajecten, kunnen niet zonder meer gebruikt worden voor het oordeel per toetsspoor per dijkvak of kunstwerk. Dit komt doordat aan dijkvakken en kunstwerken strengere eisen worden gesteld dan aan dijktrajecten, als gevolg van lengte-effecten en de faalkansbegroting. Tabel 4 geeft een overzicht van de categoriegrenzen voor het toetsoordeel van een dijkvak of kunstwerk.

Tabel 4: Categorieën toetsoordeel per vak per toetsspoor

categorie	oordeel per vak per toetsspoor
I _v	voldoet ruim aan de signaleringswaarde
II _v	voldoet aan de signaleringswaarde
III _v	voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde
IV _v	voldoet mogelijk aan de ondergrens en/of aan de signaleringswaarde
V _v	voldoet niet aan de ondergrens
VI _v	voldoet ruim niet aan de ondergrens
VII _v	nog geen oordeel

Hoofdstuk 2 Grasbekleding erosie buitentalud

Een golfklap door een brekende golf op het talud geeft een kortdurende lokale hoge waterdruk op het talud. Deze drukpuls dringt door in de zode en de onderliggende dijk en veroorzaakt hier drukgradiënten, die de zode kunnen beschadigen en delen ervan verwijderen uit de grasbekleding. Tijdens het optreden van de piekdruk wordt de zode naar binnen, zijwaarts en naar buiten gedrukt. Bij grote golfklappen wordt grond plastisch en treden irreversibele vervormingen op. Verder kan erosie veroorzaakt worden door golfoploop. De stroming van de oplopende en neergaande golftong is turbulent, waardoor de graszode wordt onderworpen aan een snel wisselende waterdruk. Hierdoor en door de ruimtelijke variabiliteit van de wisselende druk over het talud, wordt de zode blootgesteld aan binnen- en buitenwaarts gerichte drukgradiënten. De drukgradiënten met een buitenwaartse richtingscomponent kunnen op den duur stukken zode uit de grasbekleding trekken. Binnen de Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 wordt dit mechanisme beschreven als grasbekleding erosie buitentalud (GEBU).



Figuur 2: Een visualisatie van grasbekleding erosie buitentalud (Fenomenologische beschrijving, 't Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). Ten gevolge van golfbelasting is schade ontstaan in bekleding waardoor erosie kan optreden

De stappen om het mechanisme GEBU te beoordelen zijn beschreven in hoofdstuk 11 van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving, 2016).

Voor de beoordeling van GEBU in traject 36-2 is conform de Regeling veiligheid primaire waterkeringen gebruik gemaakt van de voorgeschreven handleidingen en software:

Voor de beoordeling van GEBU in traject 36-2 is conform de Regeling veiligheid primaire waterkeringen gebruik gemaakt van de voorgeschreven handleidingen en software:

- De vakindeling en de representatieve profielen zijn conform Schematiseringshandleiding Grasbekleding (Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving, 2016) geschematiseerd.
- De beoordeling is uitgevoerd met BM Gras Buitentalud versie 17.1.1.
- De hydraulische randvoorwaarden (significatie golfhoogtes) zijn bepaald met behulp van Ringtoets versie 17.1.2. Ringtoets maakt hiervoor gebruik van de door Rijkswaterstaat aangeleverde Hydraulic Region Database [WBI2017_Bovenmaas_36-2_v03].
- Voor het bepalen van de hydraulische belastingen is tevens gebruik gemaakt van Hydra-NL 2.3.2

2.1.1 Uitgangspunten GEBU

Door de grote hoeveelheid handboringen is het mogelijk om voor GEBU nauwkeurig de parameters te bepalen. Uiteindelijk is alleen voor het zandgehalte een conservatieve aanname gedaan. Hiervoor is voor de toetsing van GEBU uitgegaan van een conservatieve minimumwaarde voor dijksklei (i.e. een zandgehalte van 0,4). Voorafgaand aan de beoordeling is de verwachting dat de combinatie van de bekleding op het buitentalud en de beperkte golfhoogte zal leiden tot een zeer beperkte bijdrage aan de faalkans van het dijktraject. Daarom is gekozen dit traject middels een beperkt aantal, maar wel kritische, profielen te beschouwen. Als op basis van deze kritische profielen bepaald wordt dat de faalkansbijdrage voor het traject zeer beperkt is, wordt de onderbouwing van een stabiel oordeel gevonden.

2.1.2 Trajectbeschrijving GEBU

De bekleding op het buitentalud bestaat uit een kleilaag met daarop een grasbekleding.

Over het gehele dijktraject is een grasbekleding aanwezig, uitgezonderd verharding van bijvoorbeeld op- en afritten of bruggen.

De taluds waarop de grasbekleding zich bevindt variëren doorgaans tussen de 1:2 en 1:3. Het buitentalud bevindt zich hoofdzakelijk op de noordzijde, door het meanderen van de Maas, en daarmee ook de dijk, zit hier echter de nodig variatie in.

Door de tijd heen kan de kwaliteit van de grasmat wisselen door bijvoorbeeld lange periodes van droogte, onkruidbestrijding die niet optimaal wordt uitgevoerd of beschadigingen (bijv. dierlijke graverij of werkzaamheden). Door wekelijkse inspecties en een uitgebreide halfjaarlijkse schouw wordt dit in beeld gebracht en middels beheer en onderhoud hersteld. Van een niet gesloten of fragmentarische zode op grote strekkingen en over langere periodes is geen sprake. Deze inspecties vormen de basis om als uitgangspunt te kiezen voor een gesloten zode.

Na hoogwaters in het verleden zijn geen substantiële schades aan het buitentalud geconstateerd.

2.1.3 Vakindeling GEBU

Bij de beoordeling van de waterkeringen is de verwachting dat erosie in het buitentalud beperkt risicovol is voor de rivierdijk in traject 36-2. Om tot een volledig oordeel te komen is gekozen om de beoordeling volledig conform het WBI uit te voeren maar met een beperkt aantal profielen/vakken die gekenmerkt worden door de meest kritische profielen. De zes vakken zijn ingedeeld op basis van de vijf knipcriteria van de Schematiseringshandleiding:

- Aanwezigheid grasbekleding in golfklapzone, onder de waterstand bij de norm
- Aanwezigheid fragmentarische zode in deze zone

- Significante golfhoogte kleiner of groter dan 0,25 m
- Taludhelling
- Zodekwaliteit 'open zode' of 'gesloten zode'

Voor nadere informatie over de vakindeling en de representatieve profielen wordt verwezen naar het achtergrondrapport voor GEBU in bijlage B.

2.2 Veiligheidsoordeel GEBU

In paragraaf 12.1 van bijlage III van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 is de eenvoudige toets voor GEBU beschreven:

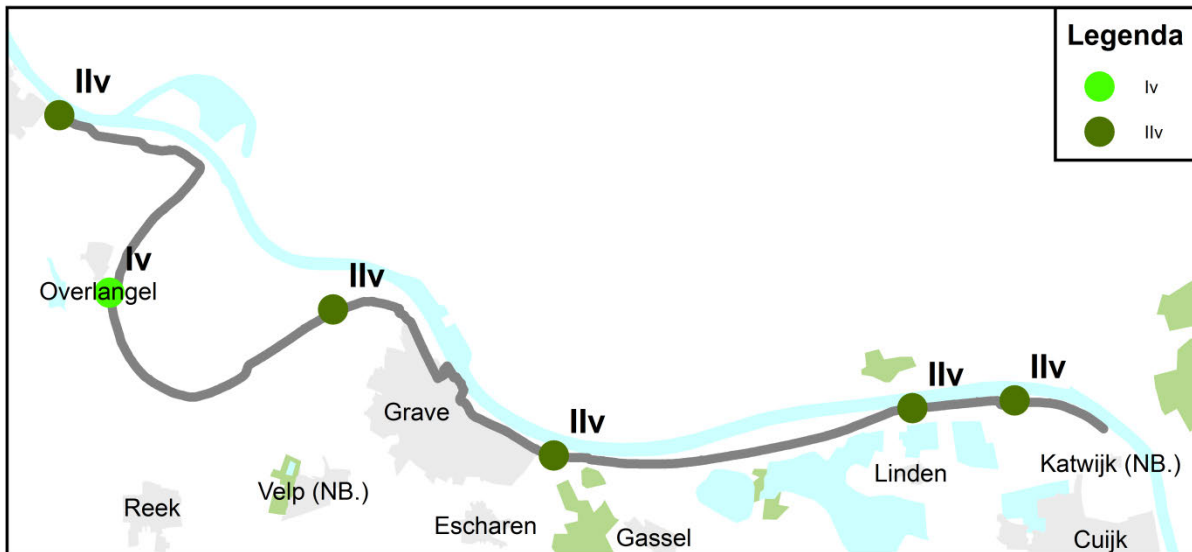
- Stap E.1: Golfhoogte kleiner of gelijk aan 0,6 m en dijk met kleikern
- Stap E.2: Graszode is open of graszode is gesloten
- Stap E.3: Golfhoogte is kleiner dan 0,25 m

De vakken binnen traject 36-2 voldoen niet aan de criteria van de eenvoudige toets. Om tot een veiligheidsoordeel te komen is verder getoetst met de gedetailleerde toets per vak. Met behulp van Bm gras en Ringtoets versie 17.1.2 zijn de volgende toetsoordelen per vak berekend. In Tabel 5 is te zien dat de vakken in traject 36-2 voor het mechanisme GEBU de oordelen Iv (*voldoet ruim aan de signaleringswaarde*) en Iiv (*voldoet aan de signaleringwaarde*) hebben.

Tabel 5: De toetsoordelen per vak voor het mechanisme GEBU. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

Dijkvak	Vaknaam	Dijkpaal	Toetsoordeel per vak
1	36-2_vak02	187	Iiv
2	36-2_vak03	201	Iiv
3	36-2_vak05	251	Iiv
4	36-2_vak09	295	Iiv
5	36-2_vak13	338	Iv
6	36-2_vak21	381	Iiv
	Totaal:		Iiv

Met behulp van de Assemblagetool WBI2017 v1.0.1.0 kunnen de toetsoordelen per vak geassembleerd worden tot een toetsoordeel voor het gehele traject. Voor GEBU is het toetsoordeel voor traject 36-2 Iiv (Voldoet aan signaleringswaarde).



Figuur 3: De toetsoordelen per vak voor het mechanisme GEBU. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

2.2.1 Gevoeligheid resultaten GEBU

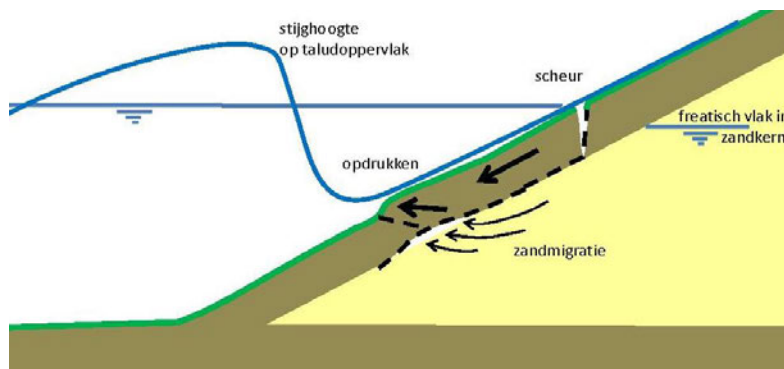
Voor de toetsing van GEBU is uitgegaan van een conservatieve minimumwaarde voor dijksklei (i.e. een zandgehalte van 0,4 [-]). Doordat er met een ongunstige aanname al voldaan wordt aan de signaleringswaarde, zal verder optimaliseren van het zandgehalte niet leiden tot een ander (slechter) veiligheidsoordeel. De overige parameters voor het mechanisme GEBU zijn nauwkeurig bepaald. Op basis hiervan kan daarom geconcludeerd worden dat het toetsoordeel voor GEBU stabiel is en dat nadere optimalisatie van de parameters niet zal leiden tot een ander (beter) veiligheidsoordeel.

2.2.2 Duiding

Voorafgaand aan de beoordeling is de verwachting dat de combinatie van de bekleding op het buitentalud en de beperkte golfhoogte zal leiden tot een zeer beperkte bijdrage aan de faalkans van het dijktraject. De uitkomsten voldoen aan de verwachting.

Hoofdstuk 3 Grasbekleding afschuiven buitentalud

De kleilaag kan als gevolg van een te groot drukverschil opdrukken, afschuiven of een combinatie van beide mechanismen vertonen. Wanneer dit optreedt, zullen door de golven eerst de restanten van de kleilaag en vervolgens het onderliggende zand eroderen. Uiteindelijk kan dit leiden tot een zodanig erosie dat kruindaling, bresvorming en overstroming van het achterland optreedt. Binnen de Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 wordt dit mechanisme beschreven als grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU).



Figuur 4: Een visualisatie van afschuiven buitentalud (Fenomenologische beschrijving, 't Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De stappen om het mechanisme GABU te beoordelen zijn beschreven in hoofdstuk 12 van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving, 2016).

Voor de beoordeling van GABU in traject 36-2 is conform de Regeling veiligheid primaire waterkeringen gebruik gemaakt van de voorgeschreven handleidingen en software:

- De vakindeling en de representatieve profielen zijn conform Schematiseringshandleiding Grasbekleding (Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving, 2016) geschematiseerd.
- De hydraulische randvoorwaarden (significatie golfhoogtes) zijn bepaald met behulp van Ringtoets versie 17.1.2. Ringtoets maakt hiervoor gebruik van de door Rijkswaterstaat aangeleverde Hydraulic Region Database [WBI2017_Bovenmaas_36-2_v03].

3.1.1 Uitgangspunten GABU

Voor de beoordeling van het mechanisme GABU zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De taludhellingen zijn afkomstig van de gegevens die ingewonnen zijn in de 2^e toetsronde. Hierbij is voor elke vak de minimale, maximale en gemiddelde taludhelling beschouwd. De beoordeling is uitgevoerd met de taludhelling die per vak het minst gunstige resultaat geeft.
- De kleidikte in het buitentalud is bepaald met behulp van handboringen. Binnen traject 36-2 zijn 21 handboringen uitgevoerd.

3.1.2 Trajectbeschrijving GABU

Omdat GABU een buitentaludspoor is wordt voor de trajectbeschrijving verwezen naar paragraaf 2.1.2, de trajectbeschrijving van GEBU.

3.1.3 Vakindeling GABU

De indeling van de dijkvakken is uitgevoerd op basis van de Schematiseringshandleiding Grasbekleding. De Schematiseringshandleiding geeft vier criteria voor de vakindeling voor het mechanisme GABU:

- Ligt de kleibekleding op een zandkern of zandscheg;
- Dikte van de kleibekleding, indien deze op zand ligt;
- Significante golfhoogte;
- Taludhelling;

Met een gevoeligheidsanalyse is gebleken dat in traject 36-2 de dikte van de kleibekleding het relevantst is voor de vakindeling van GABU. De vakken zijn daarom ingedeeld op basis van de variërende dikte van de kleibekleding. Voor de bepaling van de dikte van de kleibekleding zijn 21 handboringen op het buitentalud uitgevoerd. Op basis hiervan is het traject opgeknipt in 19 dijkvakken.

Voor nadere informatie over de vakindelingen en de representatieve profielen wordt verwezen naar het achtergrondrapport voor GABU in bijlage C.

3.2 Veiligheidsoordeel GABU

In paragraaf 12.1 van bijlage III van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 is de eenvoudige toets voor GABU beschreven:

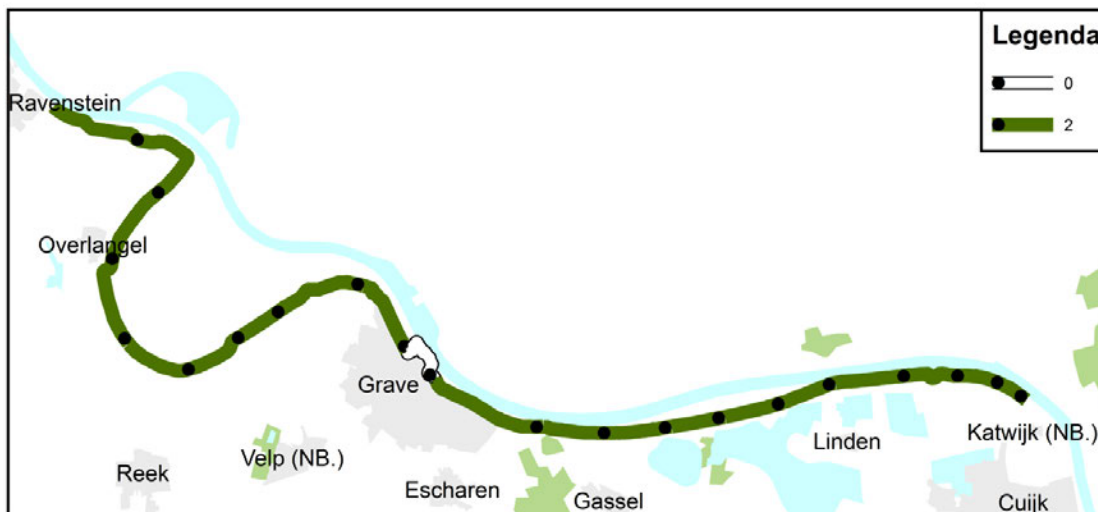
- Stap E.1: Bekleding ligt op kleikern
- Stap E.2: Bekleding ligt op zandscheg
- Stap E.3: Kleilaagdikte < golfhoogte

De vakken binnen traject 36-2 voldoen niet aan de criteria van de eenvoudige toets. Om tot een veiligheidsoordeel te komen is verder getoetst met de gedetailleerde toets per vak. Met behulp van Ringtoets versie 17.1.2 zijn de volgende toetsoordelen per vak berekend. In Tabel 6 is te zien dat alle vakken in traject 36-2 voor het mechanisme GABU het toetsoordeel II_v (*voldoet aan de signaleringwaarde*) hebben.

Tabel 6: De toetsoordelen per vak voor het mechanisme GABU. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

Dijkvak	Vaknaam	Dijkpaal	Toetsoordeel per vak
1	36-2_vak01	174 - 178	II _v
2	36-2_vak02	178 - 184	II _v
3	36-2_vak03	184 - 192	II _v
4	36-2_vak04	192 - 203	II _v
5	36-2_vak05	203 - 211	II _v
6	36-2_vak06	211 - 220	II _v
7	36-2_vak07	220 - 228	II _v
8	36-2_vak08	228 - 237	II _v
9	36-2_vak09	237 - 247	II _v
10	36-2_vak10	247 - 265	II _v
11	36-2_vak11	265 - 287	II _v
12	36-2_vak12	287 - 300	II _v
13	36-2_vak13	300 - 307	II _v
14	36-2_vak14	307 - 316	II _v
15	36-2_vak15	316 - 327	II _v
16	36-2_vak16	327 - 340	II _v
17	36-2_vak17	340 - 352	II _v
18	36-2_vak18	352 - 367	II _v
19	36-2_vak19	367 - 383	II _v
	Totaal:		II _v

Met behulp van de Assemblagetool WBI2017 v1.0.1.0 kunnen de toetsoordelen per vak geassembleerd worden tot een toetsoordeel voor het gehele traject. Voor GABU is het toetsoordeel voor traject 36-2 II_v (Voldoet aan signaleringswaarde).



Figuur 5: De toetsordelen per vak voor het mechanisme GABU. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

3.2.1 Gevoeligheid resultaten GABU

Voor de beoordeling van GABU zijn weinig aannames gedaan. Voor de bepaling van de kleidikte zijn 21 handboringen in het buitentalud uitgevoerd waardoor de kleilaag dikte nauwkeurig bepaald kan worden. Voor de taludhelling is gebruik gemaakt van waarden die geïnventariseerd zijn tijdens de tweede toetsronde. Hiervoor geldt:

- Per vak is in kaart gebracht wat de minimale, maximale en gemiddelde taludhellingen zijn. Uiteindelijk is gekozen om de berekeningen uit te voeren met de meest ongunstige taludhelling. Doordat er met een ongunstige aanname al voldaan wordt aan de signaleringswaarde, zal verder optimaliseren van taludhelling niet leiden tot een ander (slechter) veiligheidsoordeel;
- Tevens is met behulp van gevoeligheidsanalyses geconstateerd dat de toetsordelen niet gevoelig zijn voor de variatie in taludhellingen.

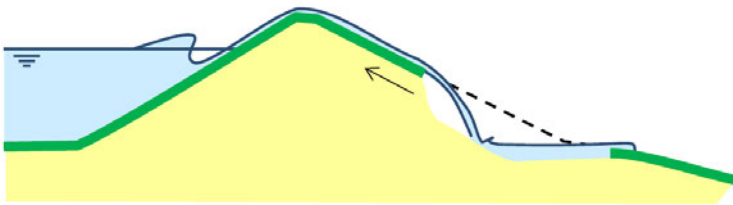
Op basis van bovenstaande kan geconcludeerd worden dat het toetsoordeel voor GABU stabiel is en dat nadere optimalisatie van de parameters niet zal leiden tot een ander (slechter) veiligheidsoordeel.

3.2.2 Duiding

Voorafgaand aan de beoordeling is de verwachting dat de combinatie van de bekleding op het buitentalud en de beperkte golfhoogte zal leiden tot een zeer beperkte bijdrage aan de faalkans van het dijktraject. De uitkomsten voldoen aan de verwachting.

Hoofdstuk 4 Grasbekleding erosie kruin en binnentalud

Bij golfoverslag slaan de hoogste golven over de kruin van de dijk. De over de dijk slaande golven geven telkens gedurende enkele seconden een hoge stroomsnelheid op de kruin en het binnentalud, waardoor de grasbekleding wordt blootgesteld aan een sterk wisselende waterdruk en kan eroderen. Na het falen van de grasbekleding, zal het onderliggende materiaal verder eroderen. Een erosiekuil kan verder verdiepen en zich stroomopwaarts uitbreiden, wat uiteindelijk kan leiden tot een profiel dat lager is dan de buitenwaterstand en bresvorming. Binnen de Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 wordt dit mechanisme beschreven als grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB).



Figuur 6: Een visualisatie van erosie binnentalud (Fenomenologische beschrijving, 't Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). Ten gevolge van golfoverslag is schade ontstaan in de bekleding waardoor erosie kan optreden.

De stappen om het mechanisme het mechanisme GEKB te beoordelen zijn beschreven in hoofdstuk 13 van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving, 2016).

Voor de beoordeling van GEKB in traject 36-2 is conform de Regeling veiligheid primaire waterkeringen gebruik gemaakt van de voorgeschreven handleidingen en software:

- De vakindeling en de representatieve profielen zijn conform Schematiseringshandleiding Hoogte (Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving, 2016) geschematiseerd.
- Het kritieke overslagdebiet is gekozen conform Schematiseringshandleiding Grasbekleding (Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving, 2016).
- Om de representatieve profielen te schematiseren is gebruik gemaakt van de software Hydra-NL versie 2.3.2.
- De beoordeling is uitgevoerd met behulp van de software Ringtoets versie 17.1.2.
- De hydraulische randvoorwaarden zijn bepaald met behulp van Ringtoets versie 17.1.2. Ringtoets maakt hiervoor gebruik van de door Rijkswaterstaat aangeleverde Hydraulische Region Database [WBI2017_Bovenmaas_36-2_v03].
- De oordelen van GEKB zijn geassembleerd met behulp van de tool Assemblagetool WBI2017 v1.0.1.0.

4.1.1 Uitgangspunten GEKB

Voor de beoordeling van het mechanisme GEKB zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Voor de geometrie is gebruik gemaakt van veldmetingenmetingen die uitgevoerd zijn door het waterschap en AHN2.
- De graskwaliteit is bepaald op basis van inspectieresultaten en analyses die de beheerders eerder hebben uitgevoerd voor de grasbekleding. Met de aanwezige graskwaliteit en de berekende golfhoogtes (tussen 0 en 1 meter) kan met behulp van tabel 6.6 van Schematiseringshandleiding Grasbekleding bepaald worden wat het kritieke overslag debiet is. Voor traject 36-2 is voor alle vakken een gemiddelde overslagdebiet van 225 l/m/s met een afwijking van 250 l/m/s (lognormaal) gehanteerd. Paragraaf 2.3.3 beschrijft welke consequenties de graskwaliteit en kritieke overslagdebiet heeft op het veiligheidsoordeel voor GEKB.

4.1.2 Trajectbeschrijving GEKB

Het dijktraject 36-2 bestaat vrijwel geheel uit een groene dijk opgebouwd uit een zandkern met daarover een kleidek, meestal met daarop een graszode. Over het gehele dijktraject is een grasbekleding aanwezig, uitgezonderd verharding van bijvoorbeeld op- en afritten of bruggen. De taluds waarop de grasbekleding zich bevindt variëren doorgaans tussen de 1:2 en 1:3. Het buitentalud bevindt zich hoofdzakelijk op de noordzijde en het binnentalud aan de zuidzijde, door de meandering van de Maas en daarmee ook de dijk zit hier echter de nodig variatie in.

Door de tijd heen kan de kwaliteit wisselen door bijvoorbeeld lange periodes van droogte, onkruidbestrijding die niet optimaal wordt uitgevoerd of beschadigingen (bijv. dierlijke graverij en werkzaamheden). Door wekelijkse inspecties en een uitgebreide halfjaarlijkse schouw wordt dit in beeld gebracht en middels beheer en onderhoud hersteld. Van een niet gesloten zode op grote strekkingen over langere periodes is geen sprake. Deze inspecties vormen de basis om als uitgangspunt te kiezen voor een gesloten zode.

De huidige dijk heeft tijdens hoogwaterperiodes niet te maken gehad met overslag of overloop. Zelfs de hoogwaters van 1993 en 1995 bleven ruim onder kruinniveau.

4.1.3 Vakindeling GEKB

De indeling van de dijkvakken is uitgevoerd op basis van de Schematiseringshandleiding Hoogte. Hierbij is rekening gehouden met de criteria voor vakindeling die voortvloeien uit de benodigde berekening van golfoverslag. Hiervoor zijn de volgende dijkkenmerken van belang:

- De oriëntatie van de dijknormaal;
- Het hoogteprofiel aan de buitenzijde (tussen de teen en de kruin) van de dijk;
- De ruwheid van de profieldelen.

Op basis van deze criteria is het traject opgeknipt in 21 dijkvakken². Per vak is een representatief profiel geschematiseerd op basis van de criteria:

- De laagste kruin;
- De gladste profieldelen;
- De kleinste bermbreedte.

Er dient opgemerkt te worden dat “de laagste kruin” het maatgevende criterium is bij de schematisatie van de representatieve profielen. Voor nadere informatie over de vakindelingen en de representatieve profielen wordt verwezen naar het achtergrondrapport voor GEKB in bijlage B.

4.2 Veiligheidsoordeel GEKB

De regeling veiligheid primaire waterkeringen beschrijft de volgende stappen voor de beoordeling van GEKB:

- Gedetailleerde toets per vak
 - o Voldoet aan de toepassingsvoorwaarden voor het rekenmodel
 - o Voldoen volgens berekening voor de gedetailleerde toets
- Gedetailleerde toets per traject
 - o Verdeling faalkansruimte
- Toets op maat erosie
 - o Cumulatieve overslagbelastingmethode
 - o Reststerke na falen

Voor GEKB is geen eenvoudige toets beschikbaar. Voor traject 36-2 is de beoordeling uitgevoerd tot en met de gedetailleerde toets per vak.

²Vak 7 van traject 36-2 betreft een kademuur. De beoordeling van GEKB is buiten beschouwing gelaten bij de kademuur.

4.2.1 Toepassingscriteria GEKB

In de Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen zijn toepassingscriteria voor het rekenmodel van GEKB beschreven:

1. Graskwaliteit is open zode, gefragmenteerde of gesloten zode.
2. $Hm0 \leq 3$ m. De golfhoogte wordt bepaald door het uitvoeren van een HBN berekening bij 0,1 l/s/m gegeven de doorsnede eis voor het faalmechanisme GEKB.
3. Taludhelling flauwer dan 1V:4H of kleilaagdikte $\geq 0,4$ m.

Voor traject 36-2 geldt:

1. Zoals eerder toegelicht geldt voor traject 36-2 dat de grasbekleding een gesloten zode heeft;
2. Op basis van HBN berekeningen bij 0,1 l/s/m bij een frequentie gelijk aan de faalkanseis op doorsnede niveau van 1/125.000 jaar zijn golfhoogtes tussen 0 en 1 m berekend;
3. De keringen van traject 36-2 voldoen niet aan de criterium van taludhelling flauwer dan 1V:4H.

Voor traject 36-2 zijn geen gedetailleerde gegevens over de kleibekleding in de kruin en binnentalud beschikbaar. Op basis van geotechnische rapporten die tussen 1988 en 1994 opgesteld zijn voor dijkverbeteringen kan afgeleid worden dat er veelal sprake is van een kleilaagdikte tussen 0,5 en 1 m. Aan de eis voor een kleilaagdikte $\geq 0,4$ m wordt hiermee voldaan.

Paragraaf 2.2.3 beschrijft welke consequenties de aanname van kleilaagdikte heeft op het veiligheidsoordeel voor GEKB.

4.2.2 Veiligheidsoordeel GEKB

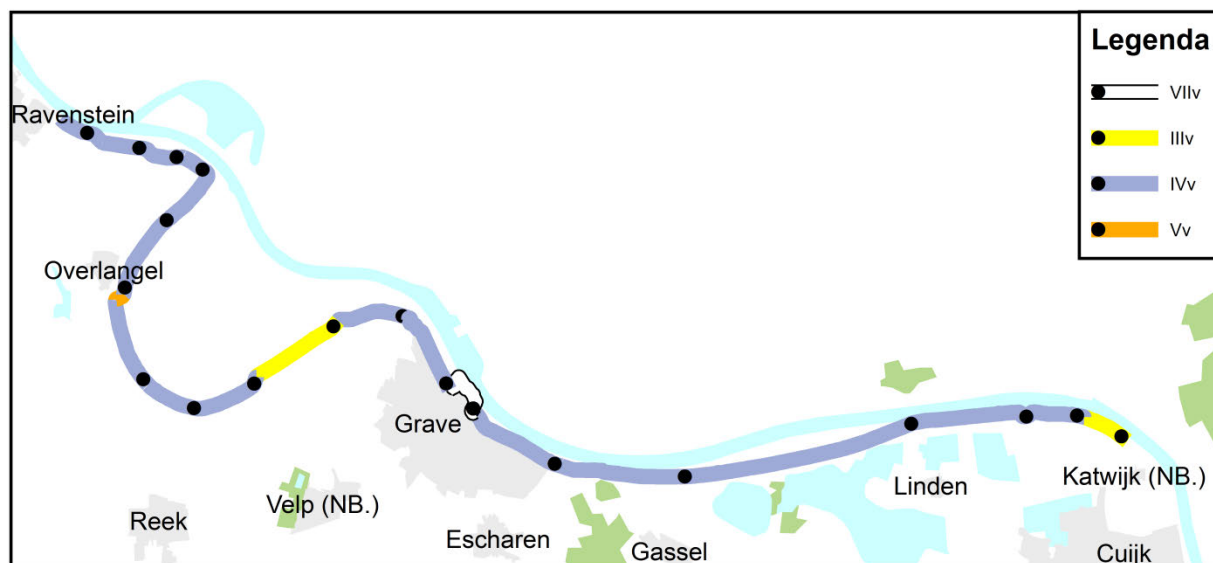
Met behulp van Ringtoets versie 17.1.2 zijn de volgende toetsoordelen per vak berekend.

Tabel 7: De toetsoordelen per vak voor het mechanisme GEKB. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

Dijkvak	Vaknaam	Gedetailleerde toetsresultaat per vak	Toetsoordeel per vak
1	36-2_Profiel01	1.75E-05	III _v
2	36-2_Profiel02	3.63E-05	IV _v
3	36-2_Profiel03	3.13E-05	IV _v
4	36-2_Profiel04	3.01E-05	IV _v
5	36-2_Profiel05	6.00E-05	IV _v
6	36-2_Profiel06	5.54E-05	IV _v
7	36-2_Profiel07	-	N.v.t. - Kademuur
8	36-2_Profiel08	6.61E-05	IV _v
9	36-2_Profiel09	1.40E-05	III _v
10	36-2_Profiel10	2.53E-05	IV _v
11	36-2_Profiel11	3.93E-05	IV _v
12	36-2_Profiel12	3.73E-05	IV _v
13	36-2_Profiel13	1.25E-04	V _v
14	36-2_Profiel14	5.77E-05	IV _v
15	36-2_Profiel15	4.16E-05	IV _v
16	36-2_Profiel16	4.31E-05	IV _v
17	36-2_Profiel17	3.87E-05	IV _v
18	36-2_Profiel18	6.26E-05	IV _v
19	36-2_Profiel19	4.00E-05	IV _v
20	36-2_Profiel20	3.04E-05	IV _v
21	36-2_Profiel21	4.66E-05	IV _v
Totaal:		1.25E-04	V _t

In Tabel 7 is te zien dat de vakken in traject 36-2 voor het mechanisme GEKB toetsoordelen hebben tussen III_v (voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde) en V_v (voldoet niet aan de ondergrens). Met behulp van de Assemblagetool WBI2017 v1.0.1.0 kunnen de toetsoordelen per vak geassembleerd worden tot een toetsoordeel voor het gehele traject.

Voor GEKB is het toetsoordeel voor traject 36-2 Vt (Voldoet niet aan de ondergrens) met een faalkans per traject van $1,25 \cdot 10^{-4}$ / jaar.



Figuur 7: De toetsoordelen per vak voor het mechanisme GEKB. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

4.2.3 Gevoeligheid resultaten GEKB

Voor de beoordeling van GEKB zijn twee aannames gemaakt die invloed kunnen hebben op het veiligheidsoordeel. Deze paragraaf ligt de gevoeligheid van deze aannames nader toe.

Graskwaliteit

Ter bepaling van de kwaliteit van de grasmat op de kering is gebruik gemaakt van een inventariserende studie naar de ecologische staat van de waterkering (Hendriks, 2016). In dit rapport is de kwaliteit van de grasmat beoordeeld op basis van de criteria geldende bij de verlengde derde toetsronde (Rijkswaterstaat, 2012). De gehanteerde definitie is vertaald naar de definities binnen het WBI2017 (Deltares, Schematiseringshandleiding Grasbekleding, 2016, p. 40):

- Gesloten graszode: plantafstand niet meer dan 0.1 m, welke in niet meer van 10% van het oppervlak tot 0,2 m mag bedragen. Niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0.1 m) beschadigingen per m² van 0,15*0,15 m en niet meer dan 5 beschadigingen per 25m².
- Open graszode: plantafstand niet meer dan 0.1 m, welke in niet meer dan 25% van het oppervlak tot 0,25 m mag bedragen. Niet meer dan 2 ondiepe beschadigingen per m² groter dan 0,15*0,15 m en niet meer dan 5 beschadigingen per 25 m².
- Fragmentarische graszode: plantafstand meer dan 25% van oppervlak meer dan 0,25 m. Veelal losstaande planten die zeker geen gesloten grasmat vormen.

Per dijkvak, weliswaar verschillend van de dijkvakbepaling binnen deze beoordelingsronde, is de zodekwaliteit binnen- en buitendijks bestudeerd. Op basis hiervan en de inspectieresultaten kan worden vastgesteld dat het traject een gesloten graszode heeft en dat middels beheer en onderhoud dit ook te garanderen is voor de peildatum van 1 januari 2023.

Er geldt echter wel dat voor de beoordeling een optimistische aanname is gemaakt dat het traject alleen grasbekleding heeft met een gesloten zode. Zelfs op basis van deze aanname voldoet het traject 36-2 voor GEKB niet aan de ondergrens. Gedetailleerdere informatie over de graskwaliteit zal daarom niet leiden tot een ander resultaat.

Kleidikte

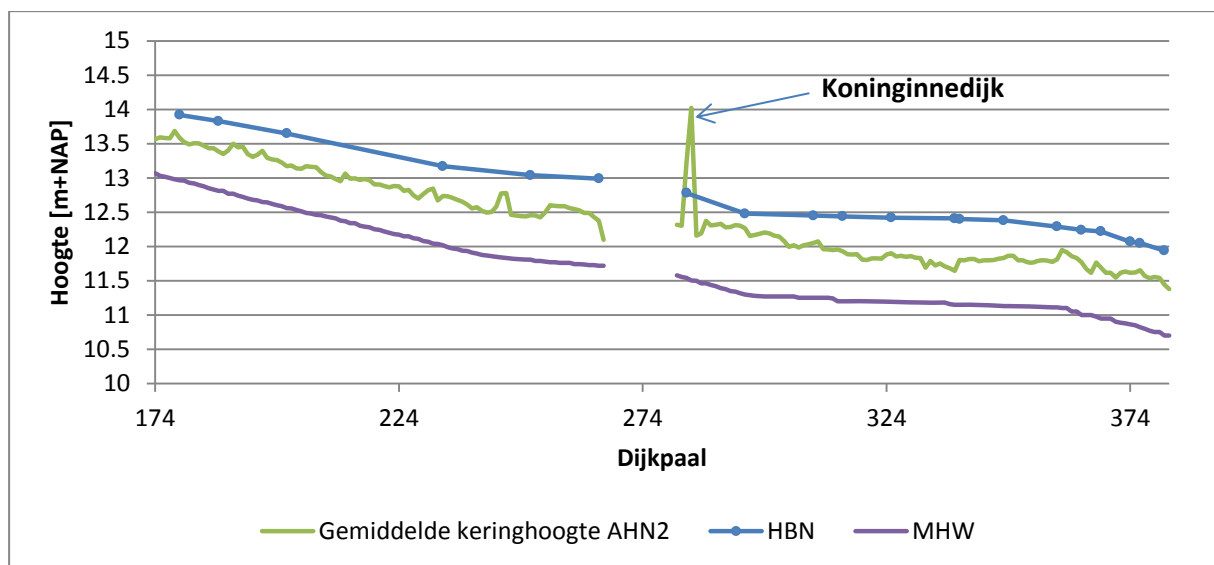
Voor de kleilaag op de kruin en binnentalud is uitgangspunt dat de dikte groter of gelijk is aan 0,4 m. Hoewel over de kleidikte beperkte informatie beschikbaar is, kan op basis van oude geotechnische rapporten afkomstig tussen 1988 en 1994 afgeleid worden dat er wel een kleibekleding aanwezig is. Doordat het traject 36-2 voor GEKB al niet aan de ondergrens voldoet, zal eventuele tegenvallers in kleidikte niet leiden tot een ander/gunstiger resultaat.

4.2.4 Duiding

Uit deze veiligheidsbeoordeling voor dijktraject 36-2 komt als resultaat dat het dijktraject niet voldoet aan de ondergrens behorende bij de norm.

Dit resultaat valt te verklaren door de hogere waterstanden die onder maatgevende omstandigheden optreden in vergelijking tot de vorige norm. In de grafiek van figuur 5 wordt dit goed weergegeven. De paarse lijn is de hoogwaterlijn behorende bij het MHW van de tot 1 januari 2017 geldende overschrijdingsnorm en de blauwe lijn is het hydraulisch belastingniveau op doorsnede-eis uitgaande van een kritiek overslagdebiet van 225.00 (l/s/m), conform WBI2017. De groene lijn is de dijkhoogte op basis van AHN2. Uit de vergelijking van deze drie hoogtelijnen komt duidelijk naar voren dat de dijk voldoende hoog is voor het MHW behorend bij de norm van vóór 2017. Dit is verklaarbaar want daar is de dijk in het verleden op ontworpen maar vergeleken bij het HBN behorend bij de nieuwe norm is te zien dat de dijk over vrijwel de gehele lengte duidelijk lager is.

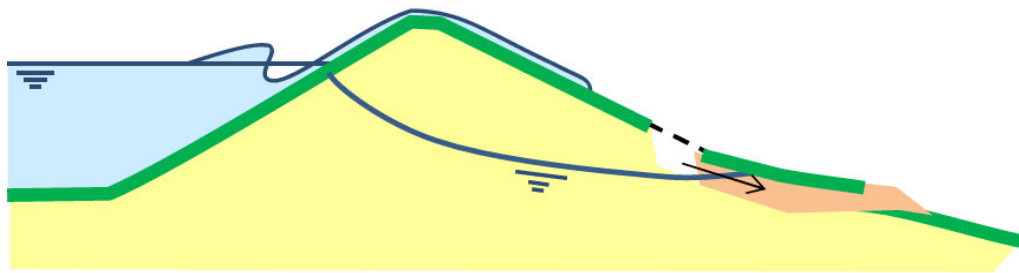
Het 'gat' in de grafiek is de vestingmuur in Grave, deze is beoordeeld als een STKWI (sterkte en stabiliteit kunstwerk, langsconstructie) hierover is een aparte veiligheidsbeschouwing opgenomen in bijlage J.



Figuur 8: Vergelijking van kruinhoogte, HBN en MHW

Hoofdstuk 5 Grasbekleding afschuiven binnentalud

Als gevolg van een hoge buitenwaterstand in combinatie met infiltratie van water door golfoverslag stijgen de waterspanningen in de dijk. Door de toename van de waterspanning onder het binnentalud kan hier instabiliteit van de grasbekleding optreden en/ of kan zand uitspoelen leidend tot bezwijken van de grasbekleding. Verdere erosie van het kernmateriaal leidt tot terugschrijdende erosie en kan vervolgens leiden tot bresvorming. Binnen de Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 wordt dit mechanisme beschreven als grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI).



Figuur 9: Een visualisatie van afschuiven binnentalud (Fenomenologische beschrijving, 't Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016). In de visualisatie is instabiliteit van de bekleding ten gevolge van golfoverslag en stijging van de freatisch vlak te zien.

De stappen om het mechanisme het mechanisme GABI te beoordelen zijn beschreven in hoofdstuk 14 van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving, 2016).

Voor de beoordeling van GABI in traject 36-2 is conform de Regeling veiligheid primaire waterkeringen gebruik gemaakt van de voorgeschreven handleidingen en software:

- De vakindeling en de representatieve profielen zijn conform Schematiseringshandleiding Hoogte (Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving, 2016) geschematiseerd.
- Om de representatieve profielen te schematiseren is gebruik gemaakt van de profielen uit het beheerregister.
- De beoordeling is uitgevoerd met behulp van de software Ringtoets versie 17.1.2.
- De hydraulische randvoorwaarden zijn bepaald met behulp van Ringtoets versie 17.1.2. Ringtoets maakt hiervoor gebruik van de door Rijkswaterstaat aangeleverde Hydraulic Region Database [WBI2017_Bovenmaas_36-2_v03].

5.1.1 Uitgangspunten GABI

Voor de beoordeling van het mechanisme GABI zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Voor de geometrie is gebruik gemaakt van veldmetingenmetingen die uitgevoerd zijn door het waterschap en AHN2;
- Op basis van oude geotechnische rapporten afkomstig tussen 1988 en 1994 kan afgeleid worden dat er een kleibekleding aanwezig is in het binnentalud. Er kan echter niet afgeleid worden hoe dik deze kleibekleding is. Voor de beoordeling van GABI wordt uitgegaan van een optimistische kleidikte van groter of gelijk aan 0,5 m. Paragraaf 5.2.1 geeft een toelichting op de gevoeligheid van deze aanname.

5.1.2 Trajectbeschrijving GABI

Omdat GABI een binnentaludspoor is wordt voor de trajectbeschrijving verwezen naar paragraaf 4.1.2, de trajectbeschrijving van GEKB.

5.1.3 Vakindeling GABI

De dijkvakken zijn ingedeeld op basis van de Schematiseringshandleiding Grasbekleding. De Schematiseringshandleiding geeft vijf criteria voor de vakindeling voor het mechanisme GABI:

- Taludhelling;
- Overslagdebiet;
- Dijktype;
- Kleilaagdikte op het binnentalud;
- Aanwezigheid van een goedwerkende drainage;

Hierbij dient opgemerkt te worden dat binnen traject 36-2 geen drainages zijn geplaatst en het dijktype varieert ook niet. Verder is zoals eerder aangegeven aangenomen dat de kleilaagdikte op het binnentalud binnen traject 36-2 overal groter of gelijk is aan 0,5 m. De vakindeling wordt daarom met name bepaald door de taludhelling en het overslagdebiet. Op basis van deze twee criteria is het traject opgeknipt in 21 dijkvakken.

Voor nadere informatie over de vakindelingen en de representatieve profielen wordt verwezen naar het achtergrondrapport voor GABI in bijlage E.

5.1.4 Beoordeling microstabiliteit (STMI)

Door het tekort aan hoogte is in de beoordeling van het mechanisme GEKB (Hoofdstuk 4) geconstateerd dat het overslagdebiet groter is dan 0,1 l/s/m. In Hoofdstuk 8 van bijlage III van de

Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 is voorgeschreven dat als het overslagdebiet groter is dan 0,1 l/s/m, de beoordeling van GABI maatgevend is boven de beoordeling van microstabiliteit. Op basis van het hoge overslagdebiet is daarom geconcludeerd dat het spoor microstabiliteit niet van toepassing is.

5.2 Veiligheidsoordeel GABI

In paragraaf 14.1 van bijlage III van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 is de eenvoudige toets voor GABI beschreven:

Stap E.1: Voldoet op basis van eenvoudige kenmerken, i.e.

- Overslagdebiet is kleiner dan 0,1 l/m/s
- Taludhelling van het binnentalud is flauwer of gelijk aan 1V:5H en bestaat niet uit veen
- Taludhelling van het binnentalud is flauwer of gelijk aan 1V:3H en de dijk bestaat uit stevige klei
- De taludhelling van het binnentalud is flauwer of gelijk aan 1V:4H en de dijk bestaat uit klei die niet als stevig wordt gekwalificeerd
- De dijk bestaat uit zand, al dan niet voorzien van een kleibekleding, en heeft een goed werkende drainage in de binnenteen

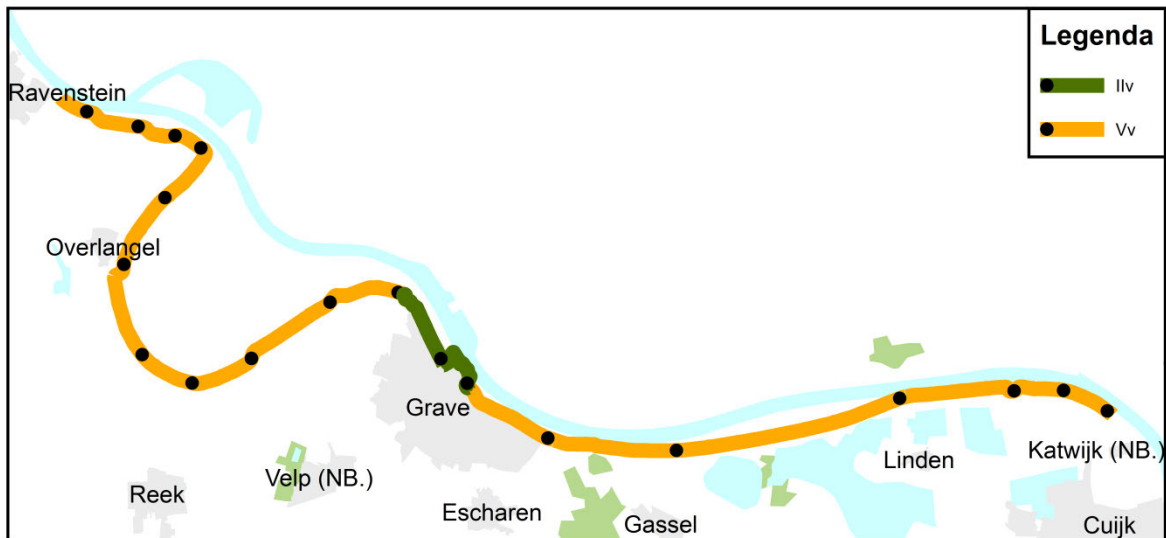
De vakken binnen traject 36-2 voldoen niet aan de criteria van de eenvoudige toets. Om tot een veiligheidsoordeel te komen is verder getoetst met de gedetailleerde toets per vak. Met behulp van Ringtoets versie 17.1.2 zijn de volgende toetsoordelen per vak berekend. In Tabel 8 is te zien dat de vakken in traject 36-2 voor het mechanisme GABI toetsoordelen hebben tussen IIV (voldoet aan de de signaleringswaarde) en VV (voldoet niet aan de ondergrens).

Met behulp van de Assemblagetool WBI2017 v1.0.1.0 kunnen de toetsoordelen per vak geassembleerd worden tot een toetsoordeel voor het gehele traject. Voor GABI is het toetsoordeel voor traject 36-2 Vt (Voldoet niet aan de ondergrens).

Tabel 8: De toetsoordelen per vak voor het mechanisme GABI. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

Dijkvak	Vaknaam	Toetsoordeel per vak
1	36-2_vak01	Vv
2	36-2_Vak02	Vv
3	36-2_Vak03	Vv
4	36-2_Vak04	Vv
5	36-2_Vak05	Vv
6	36-2_Vak06	Vv
7	36-2_Vak07	Ilv
8	36-2_Vak08	Ilv
9	36-2_Vak09	Vv
10	36-2_Vak10	Vv
11	36-2_Vak11	Vv
12	36-2_Vak12	Vv
13	36-2_Vak13	Vv
14	36-2_Vak14	Vv
15	36-2_Vak15	Vv
16	36-2_Vak16	Vv
17	36-2_Vak17	Vv
18	36-2_Vak18	Vv
19	36-2_Vak19	Vv
20	36-2_Vak20	Vv
21	36-2_Vak21	Vv
Totaal:		Vt

Let bij de resultaten op dat GABI een mechanisme betreft waarvoor geen probabilistische berekening of semiprobabilistische berekening met veiligheidsfactoren die voor WBI 2017 zijn afgeleid beschikbaar is.



Figuur 10: De toetsoordelen per vak voor het mechanisme GABI. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

5.2.1 Gevoeligheid resultaten GABI

Aanname kleidikte

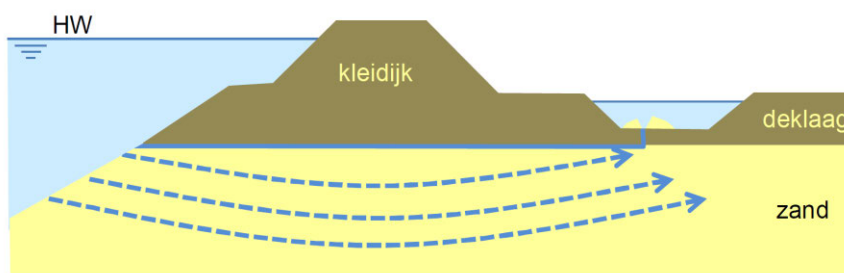
Voor de kleilaag op de kruin en binnentalud is aangenomen dat de dikte groter of gelijk is aan 0,4 m. Hoewel over de kleidikte beperkte informatie beschikbaar is, kan op basis van oude geotechnische rapporten afkomstig tussen 1988 en 1994 afgeleid worden dat er wel een kleibekleding aanwezig is. Doordat het traject 36-2 voor GABI al niet aan de ondergrens voldoet, zal eventuele tegenvallers in kleidikte niet leiden tot een ander/gunstiger resultaat.

5.2.2 Duiding

De duiding van GABI is in grote lijnen vergelijkbaar met de duiding van het mechanisme GEKB. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 0.

Hoofdstuk 6 Piping

Piping is een faalmechanisme dat wordt veroorzaakt door de stroming van water door de ondergrond ten gevolge van het waterstandsverschil tussen buitenwater enerzijds en maaiveldhoogte danwel polderpeil binnendijs. Als het stromende grondwater binnendijs het maaiveld bereikt, is er sprake van kwelwater. Deze kwelstroming kan tot erosie van gronddeeltjes leiden. Hierdoor vormt zich onder de dijk een open kanaal ('pipe') die langzaam vanaf de binnenzijde naar de buitenzijde groeit. Piping begint met de erosie van enkele zandkorrels, maar kan groeien tot transport van grote zandhoeveelheden en kan uiteindelijk leiden tot falen van de dijk. Binnen de Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 wordt dit mechanisme beschreven als piping (STPH).



Figuur 11: Een visualisatie van piping (Fenomenologische beschrijving, 't Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De stappen om het mechanisme het mechanisme STPH te beoordelen zijn beschreven in hoofdstuk 7 van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving, 2016).

Voor de beoordeling van STPH in traject 36-2 is conform de Regeling veiligheid primaire waterkeringen gebruik gemaakt van de voorgeschreven handleidingen en software:

- De vakindeling en de representatieve profielen en de parameters zijn conform Schematiseringshandleiding Piping (Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving, 2017) geschematiseerd;
- De in- en uitredepunten en de korreldiameter d_{70} zijn conform Schematiseringshandleiding Piping (Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving, 2017) geschematiseerd.
- Voor de ondergrondschematisering (laagopbouw) is gebruik gemaakt van de software D-Soil Model versie 17.1.1.910. D-Soil Model maakt hiervoor gebruik van de door Rijkswaterstaat aangeleverd ondergrond database [WTISOS2017_materiaal_1sep2016.soil]. De ondergrond database is tijdens de toetsing verder verfijnd tot een lokaal SOS op basis van aanvullend grondonderzoek.
- De beoordeling is uitgevoerd met behulp van de software Ringtoets versie 17.1.2;
- De hydraulische randvoorwaarden zijn bepaald met behulp van Ringtoets versie 17.1.2. Ringtoets maakt hiervoor gebruik van de door Rijkswaterstaat aangeleverde Hydraulic Region Database [WBI2017_Bovenmaas_36-2_v01];

- De oordelen van STPH zijn geassembleerd met behulp van de tool Assemblagetool WBI2017 v1.0.1.0.

6.1.1 Uitgangspunten STPH

Voor de beoordeling van het mechanisme STPH zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Voor de geometrie is gebruik gemaakt van AHN2 profielen;
- Op basis van luchtfoto's en ingemeten dwarsprofielen zijn de teensloten gedefinieerd. Waar sloten aanwezig zijn in het voorland is gekeken wat dit doet met een al dan niet aanwezige afdekkende laag. Indien sloten aanwezig zijn in het achterland is hier, mits niet te ver van de dijk gelegen, het uittredepunt gekozen. Aangenomen wordt dat het binnendijkse peil ruwweg gelijk is aan het maaiveld. Deze aanname strookt met waarnemingen bij hoogwaters uit het verleden.
- Ten behoeve van de opbarstberekening is het noodzakelijk om de gewichten van de afdekkende lagen in kaart te brengen. Hiervoor is gebruik gemaakt van de tabel 2.b – Karakteristieke waarden van grondeigenschappen van de NEN9997-1 en geverifieerd met in het verleden bepaalde waarden uit geotechnisch onderzoek.
- Voor de doorlatendheden en korreldiameters zijn de waarden aangeleverd bij de D-SoilModel software gebruikt en is voor de korreldiameter tevens gebruik gemaakt van de beschikbare gegevens van het waterschap.

Om te voldoen aan de geohydrologische modellen die ten grondslag liggen aan de fictieve voorlandlengtebepaling is conform de schematiseringshandleiding uitgegaan dat de kwelweglengte in totaal niet langer mag zijn dan tweemaal de dijkbasis (buitenteen tot uittredepunt). Dit is gedaan conform bijlage E van Schematiseringshandleiding Piping. Voor meer achtergrondgegevens over de uitgangspunten wordt verwezen naar Bijlage F – achtergrondrapport Piping.

6.1.2 Trajectbeschrijving STPH

De omstandigheden in het gebied waarin ook dijktraject 36-2 valt kunnen op voorhand als piping gevoelig worden aangemerkt. De bodemopbouw in het gebied wordt gekenmerkt door een relatief dunne deklaag gemiddeld tussen de 0,5 en 3 meter dik, zowel binnendijks als buitendijks. De watervoerende zandlaag onder de deklaag bestaat voornamelijk uit pleistocene rivierafzettingen opgebouwd uit grof tot matig grof zand, relatief goed doorlatend, in sommige gevallen omgewerkt door Holocene rivieren. Grind wordt niet veel aangetroffen. In een deel van de boringen wordt boven op de wat grovere pleistocene zandlaag een fijne dekzand afzetting (eolisch) gevonden. Deze combinatie van een goed doorlatend pleistoceen zandpakket met in de bovenlaag fijn, afgerond dekzand wordt als sterk piping gevoelig beschouwd en is ook opgemerkt in het project VNK2.

Over het gehele traject is sprake van een uiterwaard (voorland) van wisselende omvang, grofweg tussen enkele tientallen meters en meerdere honderden meters. Ook het achterland varieert in

hoogte. Naast de wisselende ondergrond is de verwachting dat deze geometrische verschillen doorwerken in de uitkomsten.

Het voor en achterland wordt beschermd middels beschermingszones die in de legger zijn opgenomen en vallen daarmee onder de Keur. In deze beschermingszones gelden vanuit de Keur restricties en met name een voor piping relevante beperking, is het verbod op ontgraving in voor- en achterland. Deze zoneringen strekken 50 meter vanaf de binnen- en buitenteen van de dijk. Momenteel (2017) loopt er een traject binnen het waterschap om de keurzonering in de uiterwaard uit te breiden naar 100 meter, naar verwachting is deze aanpassing in 2018 of 2019 gereed. Aanleiding van deze uitbreiding is de verwachting dat door de hogere norm en de vernieuwde inzichten rond piping zorgen voor een grotere benodigde sterkte van de waterkering tegen piping. Deze sterkte wordt mogelijk deels gevonden in het aanwezige voorland.

Beheerderservaring uit het verleden leert dat op meerdere locaties tijdens de hoogwaters midden jaren negentig zand meevoerende wellen zijn waargenomen. Dit waren hoogwaters met een herhalingsdijk van rond de 1/100 per jaar. Sindsdien zijn de dijken op meerdere locaties in het traject 36-2 verbeterd, waarbij wel opgemerkt moet worden dat dit ontwerpen zijn die veelal zijn gebaseerd op de nu niet meer in gebruik zijnde rekenregel van Bligh.

6.1.3 Vakindeling STPH

De indeling van de dijkvakken is uitgevoerd op basis van de Schematiseringshandleiding Piping. De volgende kenmerken zijn van belang voor de indeling van de vakken:

- Segmentindeling SOS in combinatie met lokale ondergrondschematisatie
- Aanwezigheid afsluitende kleilaag voorland
- Aanwezigheid sloten
- Hoogte voor- en achterland
- Geometrie dijkprofiel

Op basis van deze criteria is het traject opgeknipt in 24 dijkvakken³. Per vak is een minst gunstig dwarsprofiel voor het mechanisme piping gekozen als representatief dwarsprofiel.

Voor nadere informatie over de vakindelingen wordt verwezen naar het logboek voor STPH in bijlage F.

³Vak 11 van traject 36-2 betreft een kademuur. De beoordeling van de kademuur is opgenomen in de bijlage.

6.2 Veiligheidsoordeel STPH

De regeling veiligheid primaire waterkeringen beschrijft de volgende stappen voor de beoordeling van STPH:

- Eenvoudige toets
 - o Relevantietoets type kering
 - o Relevantietoets ondergrondkenmerken
 - o Toepassingsvoorwaarde voor eenvoudige en gedetailleerde toets
 - o Toets op tijdsafhankelijke benadering
 - o Toets op basis van geometrische kenmerken
- Gedetailleerde toets per vak
 - o Toetsen op opbarsten
 - o Toetsen op heave
 - o Toetsen op terugschrijvende erosie
- Gedetailleerde toets per traject
 - o Verdeling faalkansruimte
- Toets op maat
 - o Tijdsafhankelijke grondwaterstromingsberekeningen
 - o In rekening brengen van heterogeniteit en ruimtelijke variatie van ondergrond

Voor traject 36-2 is de beoordeling uitgevoerd tot en met de gedetailleerde toets per vak.

In paragraaf 30 worden de beoordelingsresultaten voor STPH op vak- en trajectniveau toegelicht. In paragraaf 3.3.2 wordt de gevoeligheid van de resultaten toegelicht.

6.2.1 Beoordeling STPH

In paragraaf 7.1 van bijlage III van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 is de eenvoudige toets voor STPH beschreven:

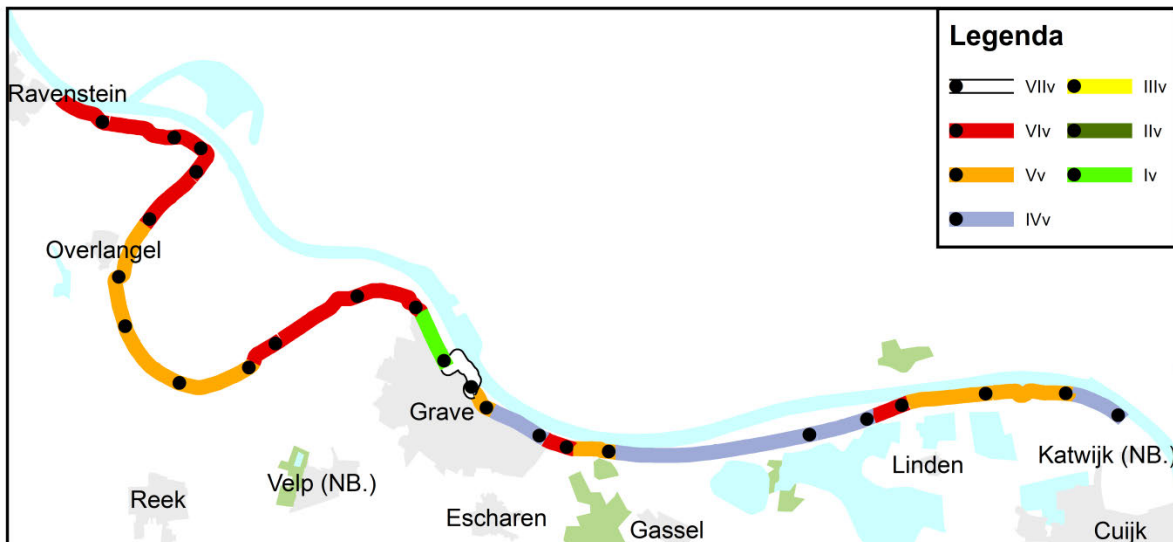
- Stap E.1: Relevantietoets op basis van type kering
- Stap E.2: Relevantietoets op basis van ondergrondkenmerken.
- Stap E.3: Toepassingsvoorwaarde voor eenvoudige en gedetailleerde toets
- Stap E.4: Toets op tijdsafhankelijke benadering
- Stap E.5: Toets op basis van geometrische kenmerken.

De vakken binnen traject 36-2 voldoen niet aan de criteria van de eenvoudige toets. Om tot een veiligheidsoordeel te komen is verder getoetst met de gedetailleerde toets per vak. Met behulp van Ringtoets versie 17.1.2 zijn de volgende toetsoordelen per vak berekend. In Tabel 9 is te zien dat de vakken in traject 36-2 voor het mechanisme STPH toetsoordelen hebben tussen I_V (*voldoet ruim aan de signaalwaarde*) en VI_V (*voldoet ruim niet aan de ondergrens*). Met behulp van de Assemblagetool

WBI2017 v1.0.1.0 kunnen de toetsoordelen per vak geassembleerd worden tot een toetsoordeel voor het gehele traject. Voor STPH is het toetsoordeel voor traject 36-2 VIt (Voldoet ruim niet aan de ondergrens) met een faalkans per traject van $2,0 * 10^{-1}$ / jaar.

Tabel 9: De toetsoordelen per vak voor het mechanisme STPH. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

Dijkvak	Vaknaam	Gedetailleerde toetsresultaat per vak	Toetsoordeel per vak
1	vak01_AD180M50	9,68E-06	IVv
2	vak02_AD184M50	1,11E-03	Vv
3	vak03_AD203M00	2,43E-03	Vv
4	vak04_AD208M75	6,10E-03	VIv
5	vak05_AD216M75	2,32E-05	IVv
6	vak06_AD226M00	2,89E-05	IVv
7	vak07_AD249M00	1,13E-03	Vv
8	vak08_AD250M75	3,57E-02	VIv
9	vak09_AD261M00	2,47E-05	IVv
10	vak10_AD265M25	1,71E-03	Vv
11	vak11_KadeGrave	1,00E-09	Iv
12	vak12_AD276M00	1,00E-09	Iv
13	vak13_AD288M00	5,71E-03	VIv
14	vak14_AD302M00	3,13E-02	VIv
15	vak15_AD306M50	6,49E-03	VIv
16	vak16_AD316M100	4,86E-04	Vv
17	vak17_AD325M50	3,95E-04	Vv
18	vak18_AD332M00	2,78E-04	Vv
19	vak19_AD344M00	1,21E-03	Vv
20	vak20_AD349M50	7,69E-02	VIv
21	vak21_AD356M50	1,33E-02	VIv
22	vak22_AD362M25	4,74E-03	VIv
23	vak23_AD374M00	4,72E-03	VIv
24	vak24_AD378M00	2,50E-02	VIv
Totaal:		2.00E-01	VIt



Figuur 12: De toetsoordelen per vak voor het mechanisme STPH. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

6.2.2 Gevoeligheid resultaten STPH

Deze paragraaf licht de gevoeligheid van de parameters en keuzes op de resultaten van de beoordeling voor piping toe.

- **d₇₀**

Voor de d_{70} is gebruik gemaakt van de waarden zoals vastgelegd in de documenten aangeleverd bij het WBI-SOS. Hierbij is getracht om dit verder te verfijnen met behulp van lokale grondonderzoeken. Tijdens de verfijning is geconstateerd dat de D_{70} 's van de lokale grondonderzoeken gemiddeld fijner zijn dan de waarden in de WBI-SOS. Het totaal aantal proeven (17) is echter te klein om deze proeven direct te linken aan de verschillende grondsoorten zoals gedefinieerd in het SOS. Omdat de meegeleverde D_{70} -waarden per afzettingsmilieu zijn gedefinieerd en niet per SOS-materiaaleenheid en omdat het meenemen van de aanvullende onderzoeken niet leidt tot een ander resultaat, is uiteindelijk gekozen voor een gemiddelde d_{70} -waarde voor alle zandlagen. In het logboek voor STPH in bijlage C is dit nader toegelicht.

- **Volumiek gewicht cohesieve deklaag**

Ten behoeve van de opbarstberekening is voor de gewichten van de afdekkende lagen gebruik gemaakt van de tabel 2.b – Karakteristieke waarden van grondeigenschappen van de NEN9997-1. Tijdens de beoordeling is gebleken dat “opbarsten” niet maatgevend is voor het veiligheidsoordeel op trajectniveau. Nadere verfijning van het volumiek gewicht van de

cohesieve deklaag zal niet leiden tot een ander/beter beoordelingsresultaat. Hierdoor is gekozen om de volumieke gewichten van NEN9997-1 niet nader te verfijnen.

- **Bepaling intredepunt**

Ten behoeve van de bepaling van de intredepunten is met name gebruik gemaakt van gebiedsdekkende EM-metingen. Daar dit soort metingen een continue inzicht geven in de afdekkende laag is voldoende vertrouwen in de gekozen intredepunten en is geconstateerd dat aanvullende onderzoeken niet meer leiden tot andere beoordelingsresultaten.

- **Maximale kwelweglengte**

Zoals voorgeschreven in de schematiseringshandleiding (pag. 94) is uitgegaan dat de fictieve kwelweglengte in totaal niet langer mag zijn dan tweemaal de dijkbasis (buitenteen tot uittredepunt). Deze beperkende factor zal met name impact hebben op vakken met veel voorland die kwelwegverlengende werking hebben. Binnen traject 36-2 scoren juist de dijkvakken met weinig voorland zeer slecht op piping. De aanname dat de kwelweglengte in totaal niet langer mag zijn dan tweemaal de dijkbasis heeft hierdoor geen invloed op het veiligheidsoordeel van STPH in traject 36-2.

- **Polderpeil**

Op basis van beheerderskennis wordt een waterstand op maaiveldniveau realistisch geacht voor het polderpeil.

Hierbij wordt dus aangenomen dat het polderpeil hoog is waardoor het verval ΔH laag is. Dit is een gunstige aanname. Doordat de keringen al niet voldoen aan de ondergrens met deze gunstige aanname, zal nadere aanscherping van het polderpeil niet leiden tot een ander veiligheidsoordeel.

- **Doorlatendheid**

De doorlatendheid en de spreiding van de doorlatendheid hebben grote impact op de resultaten van de beoordeling op STPH. Voor de doorlatendheden zijn de waarden van de VNK-II analyses gehanteerd. De gemiddelde doorlatendheden zijn door een externe geohydrologische expert beschouwd en als realistisch beoordeeld. Dit is tevens bevestigd door geavanceerde onderzoeken die in het kader van POV piping⁴ zijn uitgevoerd. Tijdens de beoordelingen is geconstateerd dat de hoge variatiecoëfficiënt van de doorlatendheid veel impact heeft op de resultaten van de beoordeling. De verwachting is dat met aanvullende onderzoeken het mogelijk is om de variatie omlaag te brengen. Met behulp van gevoeligheidsberekeningen is echter gebleken dat de resultaten voor piping dermate slecht zijn, dat zelfs met een variatiecoëfficiënt van 0% er nog ruim niet aan de ondergrens voldaan wordt. Daarom is gekozen om niet verder de variatie van doorlatendheid te optimaliseren.

⁴ Betreft geavanceerde onderzoek, verkenning Doorlatendheidmeting middels HPT sondeertechniek voor een ander traject. Het onderzoek toont echter aan dat de doorlatendheden van SOS realistisch zijn.

Op basis van de benoemde gevoeligheden kan geconstateerd worden dat het veiligheidsoordeel ten aanzien van het mechanisme STPH stabiel is.

6.2.3 Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling STPH

De uitkomst van de veiligheidsbeoordeling op het toetspoor STPH dient enige duiding en nuancering. De berekende faalkansen zijn namelijk zodanig hoog dat de faalkans op trajectniveau onder de 1/100 per jaar wordt berekend. Bij dergelijke hoge faalkansen kan de vraag worden gesteld hoe realistisch de uitkomsten zijn omdat de waterkering die er nu ligt dergelijke omstandigheden heeft meegemaakt en niet is bezweken. Voor een deel ligt de verklaring van de hoge berekende faalkans in de uitgangspunten die in het WBI worden gehanteerd. Voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld dat een deklaag in het voorland meegenomen mag worden bij een dikte van tenminste 1,3 meter. Uit aanvullende EM-metingen zijn ook locaties aangetroffen met minder dikke deklagen die vrijwel zeker ook een weerstand bieden en daarmee sterkte tegen piping waardoor in werkelijkheid de sterkte groter zal zijn dan in de berekening. Het intredepunt kan hierdoor tientallen meters verschuiven.

Een andere oorzaak kan gevonden worden in de gehanteerde spreiding in de waarden in het SOS die vaak groot is. Voor een parameters als de doorlatendheid leunt de veiligheidsbeoordeling sterk op de waarde uit het SOS omdat lokaal ingewonnen gegevens hierover niet of nauwelijks bij het waterschap beschikbaar zijn.

De dijkvakken met de hoogste faalkans hebben weinig tot geen afdekkende kleilaag in het voorland en een laag gelegen achterland. Ook komt uit de gevoeligheidsanalyses naar voren dat deze vakken een hoge faalkans blijven houden, zelfs bij meer optimistische aannames of wanneer de onzekerheid op nul wordt verondersteld.

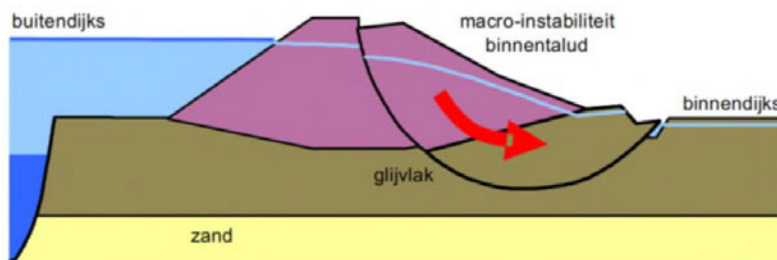
Zoals eerder al beschreven kan aan de berekende faalkansen getwijfeld worden gezien de hoogwaters die de dijk in het verleden hebben doorstaan. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat tijdens de hoogwaters midden jaren negentig op meerdere locaties zandmeevoerende wellen zijn geconstateerd en opgekist. Dit waren hoogwatergolven met een herhalingsperiode tussen de 1/100 en 1/200 per jaar, waterstanden die fors lager liggen (ca. 1,5 meter) dan de huidige normwaterstanden. Gedeelten van het dijktraject zijn na midden jaren negentig versterkt, echter de dijken zijn ontworpen op een overschrijdingsnorm van 1/1250 per jaar en veelal met de methode Bligh, een toen nog geaccepteerd en gangbaar ontwerppunt maar inmiddels als niet meer acceptabel beschouwd vanwege een veronderstelde onderschatting van het pipingrisico.

Alles afwegende kan worden gesteld dat de berekende faalkansen voor piping voor tenminste een aantal vakken te hoog lijken. Gevoeligheidsanalyses waarbij wordt uitgegaan van gunstigere omstandigheden voor bijvoorbeeld bodemopbouw en in en uittredepunt leveren weliswaar lagere faalkans op maar geen ander toetsoordeel. De verklaring ligt deels in de voorgeschreven rekenmethode en modellen. Het oordeel moet echter niet als onbetrouwbaar worden gezien. Naast de beoordelingsresultaten die de WBI-methode geeft blijft het een basisgegeven dat dijktraject 36-2 een

pipingevoelige uitgangssituatie heeft, gebaseerd op de bodemkenmerken, bevestigd door o.a. de recent uitgevoerde EM-metingen maar ook door de waarnemingen tijdens hoogwater. Ook in de VNK2-studie is het beeld van een pipingevoelig traject bevestigd. Deze constatering in combinatie met de ontwerpuitgangspunten uit het verleden, maken dat het niet reëel is te verwachten dat tot een ander oordeel voor piping op trajectniveau wordt gekomen dan in deze veiligheidsbeoordeling. De gevoeligheidsanalyses laten zien dat het inwinnen van meer informatie of nader onderzoek om onzekerheden te reduceren niet zal leiden tot een ander oordeel. De eisen vanuit de nieuwe norm ten aanzien van piping zijn simpelweg te hoog voor de huidige waterkering.

Hoofdstuk 7 Macrostabieliteit binnenwaarts

Er is sprake van macroinstabiliteit als grote delen van een grondmassief afschuiven langs rechte of gebogen diepe schuifvlakken. Door het optreden van een afschuiving kan sprake zijn van het falen van de waterkerende functie van een dijk. Dit is het geval wanneer de omvang van de afschuiving zo groot is dat de kruin van de dijk over de volle breedte is gedaald of weggeschoven en water in het achterliggende gebied kan stromen. Binnen de Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 wordt dit mechanisme beschreven als macrostabieliteit binnenwaarts (STBI).



Figuur 13: Een visualisatie van macrostabieliteit (Fenomenologische beschrijving, 't Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

Bij aanvang van de beoordeling van traject 36-2 is de ontwikkeling van het instrumentarium voor macrostabieliteit nog niet afgerond. In het najaar van 2017 worden de programma's s D-SoilModel en BM Macrostabieliteit aangepast. Tevens worden de nieuwe inzichten voor de bepaling van de grensspanning nog verwerkt in het instrumentarium. Door deze ontwikkelingen is door het waterschap geconcludeerd dat het beschikbare instrumentarium voor macrostabieliteit op dit moment nog niet optimaal werkt (het instrumentarium levert nog geen herleidbare schematisaties en resultaten op). Conform paragraaf 3.1.3 van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage I Regeling veiligheid primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving, 2016) is daarom gekozen om een toets op maat uit te voeren voor STBI.

Voor de beoordeling van STBI in traject 36-2 is uitgevoerd met de nieuwe release van het programma DGeostability, versie 17.1. Tijdens de beoordeling is de werkwijze en de filosofie van het WBI2017 gevolgd.

7.1.1 Uitgangspunten STBI

Voor de beoordeling van het mechanisme STBI zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Voor de geometrie is gebruik gemaakt van AHN2-profielen.
- De hydraulische randvoorwaarden die zijn gebruikt zijn van de WBI database [WBI2017_Bovenmaas_36-2_v03].
- Voor de ondergrondschematisering (laagopbouw) is gebruik gemaakt van de software D-Soil Model versie 17.1.1.910. D-Soil Model maakt hiervoor gebruik van de door Rijkswaterstaat aangeleverd ondergronddatabase [WTISOS2017_materiaal_1sep2016.soil]. De ondergronddatabase is tijdens de toetsing verder verfijnd met aanvullende grondonderzoeken.
- De grondparameters zijn afgeleid aan de hand van de ongedraineerde schuifsterkteparameters S en m en de POP-waarden, zoals als defaultparameters zijn opgenomen in de Schematiseringshandleiding Macrostablieit.

Voor meer achtergrondgegevens over de uitgangspunten wordt verwezen naar Bijlage G – Achtergrondrapport Macrostablieit traject 36-2.

7.2 Trajectbeschrijving STBI

De waterkering bestaat in traject 36-2 vrijwel geheel uit een dijk opgebouwd uit een grondlichaam. In zijn algemeenheid een zandige kern, of een kern uit zandige klei met daaroverheen een kleibekleding. Verder wordt de ondergrond gekenmerkt door een zandpakket met daarop een deklaag bestaand uit (zandige) klei. De dikte van deze deklaag varieert.

Op de waterkering ligt meestal een asfaltweg. In voorgaande toetsrondes voldeed het traject aan de stabiliteitseisen. Het traject wordt verder gekenmerkt door grote strekkingen met een relatief eenvormig profiel. Op basis van AHN2 en de profielen uit het beheerregister blijkt ook dat de maaiveldhoogte binnendijs voor grote strekkingen varieert binnen een beperkte bandbreedte.

7.2.1 Vakindeling STBI

De vakken van dit traject zijn ingedeeld op basis van de WBI-SOS-segmenten. Op basis van deze segmentindeling zijn scenario berekeningen uitgevoerd met bijbehorende kenmerkende geometrie. Dit heeft geleid tot 3 dijkvakken binnen het traject 36-2. Voor nadere informatie over de dijkvakindeling wordt verwezen naar het logboek voor STBI in bijlage G.

7.2.2 Hydraulische belastingen STBI

De hydraulische belastingen zijn bepaald het programma Hydra-NL (2.3.2) in combinatie met Riskeer (versie 17.1.1). Voor een groot aantal kenmerkende locaties langs de waterkering zijn hiervoor de

toetspeilen bepaald. Hierbij wordt opgemerkt dat de toetspeilen moeten worden opgevat als de buitenwaterstand die een overschrijdingskans kent die gelijk is aan de norm voor het jaar 2023. Uit de berekende toetspeilen blijkt dat deze waterstanden nagenoeg gelijk en/of reeds hoger zijn dan de bestaande kruinhoogte, waardoor zeer grote overslagdebieten of zelfs overloopsituaties te verwachten zijn tijdens normomstandigheden. In de stabiliteitsanalyses is dan ook gerekend met een verhoging van de freatische lijn als gevolg van deze te verwachten zeer grote overslagdebieten.

7.3 Veiligheidsoordeel STBI

Zoals eerder is toegelicht is direct een toets op maat uitgevoerd omdat bij aanvang van de beoordeling van traject 36-2 de ontwikkeling van het instrumentarium voor macrostabiliteit nog niet was afgerond. De verwachting is dat eind 2017, begin 2018 de vernieuwde programma's D-SoilModel en BM Macrostabiliteit, als ook een nieuwe versie van Riskeer wordt uitgeleverd. Door deze ontwikkelingen is door het waterschap geconcludeerd dat het beschikbare instrumentarium voor macrostabiliteit op dit moment nog niet optimaal werkt. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de methode, behoudens de gebruikte software, zeer vergelijkbaar is met de manier waarop in het WBI2017 de gedetailleerde beoordeling wordt uitgevoerd. Op basis van onder andere de Stochastisch Ondergrond Schematisatie (WBI-SOS) en het variëren van andere uitgangspunten (geometrie, ligging freatische lijn en dergelijk) zijn scenario's beschouwd, zodat een gewogen resultaat wordt verkregen. In de aanpak zoals we in deze fase van de beoordeling hebben gekozen, met als gegeven het nieuwe rekenmodel (CCSM) en de onvolledige uitrol van het WBI2017-instrumentarium, is het nog niet goed mogelijk om voldoende recht te doen aan de benadering zoals het WBI voorziet. In deze beoordeling is echter wel gebruik gemaakt van de scenario's in het SOS. Naast dat deze leidend zijn geweest voor de vakindeling is binnen deze vakken gevarieerd met verschillende bodemopbouwen conform het SOS en geverifieerd met lokale ondergrondgegevens. Hierdoor maakt het denken in scenario's een belangrijk onderdeel uit van deze beoordeling.

7.3.1 Resultaten STBI

Om tot een veiligheidsoordeel te komen is direct een toets op maat uitgevoerd. Met behulp van D-Geostability, versie 17.1, zijn de toetsoordelen per vak berekend. In Tabel 10 is te zien dat de vakken in traject 36-2 voor het mechanisme STBI toetsoordelen hebben tussen Vv (*Voldoet niet aan de ondergrens*) en Vlv (*voldoet ruim niet aan de ondergrens*). Met behulp van de Assemblagetool WBI2017 v1.0.1.0 kunnen de toetsoordelen per vak geassembleerd worden tot een toetsoordeel voor het gehele traject. Voor STBI is het toetsoordeel voor traject 36-2 Vlt (*Voldoet ruim niet aan de ondergrens*) met een faalkans per traject van $6,27 * 10^{-2}$ / jaar.

Tabel 10: De toetsoordelen per vak voor het mechanisme STBI. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

Dijkvak	Vaknaam	Gedetailleerde toetsresultaat per vak	Toetsoordeel per vak
1	Cuijk – Grave	1,12E-03	Vv
2	Grave – Keent	2,41E-04	Vv
3	Neerloon	6,14E-02	Vlv
Totaal:		6,27E-02	Vlv

7.3.2 Gevoeligheid resultaten STBI

Deze paragraaf licht de gevoeligheid van de parameters en keuzes op de resultaten van de beoordeling voor macrostabiliteit binnenwaarts toe.

Schematiseringsfactor

Zoals in paragraaf 7.3 beschreven is het gebruik van de schematiseringsfactor in het WBI2017 niet meer gebruikelijk. De schematiseringsfactor in deze veiligheidsbeoordeling is dan ook alleen gebruikt om de gevoeligheid van de uitkomsten voor de variatie in de ondergrond te duiden. Daarbij wordt aangenomen dat deze kan variëren tussen een waarde van 1,0 en 1,3, conform het TR Grondmechanisch schematiseren [6]. Het variëren van de factor levert uiteraard andere veiligheidsfactoren maar laat ook zien dat binnen de bandbreedte op trajectniveau niet tot een ander oordeel wordt gekomen

Opgemerkt wordt het eindoordeel per beschouwd dijkvak wel op basis van scenario's is gepresenteerd.

Sterkte opbarstzone

De sterkte in de opbarstzone (voor bijvoorbeeld dp216.+00m is gerekend met sterkte en voor dp242.50m gerekend zonder sterkte) heeft een relatief groot effect op de berekende stabiliteit. Ook

wanneer met sterkte in de opbarstzone wordt gerekend wordt niet tot een ander oordeel op trajectniveau gekomen.

POP-waarde

Initiële POP-waarde (tijdens normale omstandigheden) voor de ongedraineerde grondsoorten met 10kPa verhoogd; de effecten hiervan op de uitkomsten van de berekening zijn gering, hierdoor is ook de invloed op het oordeel op trajectniveau gering en zal niet leiden tot een ander oordeel.

S-waarden

Wanneer wordt gerekend met gunstigere (nog wel realistische) S-waarden voor de ongedraineerde grondsoorten worden marginale verschillen berekend. Hierdoor is ook de invloed van de sterkte eigenschappen op het oordeel op trajectniveau gering en zal niet leiden tot een ander oordeel.

Freatische waterstand in de waterkering

Het rekenen met een lagere freatische waterstanden in de waterkering, hetgeen de stabiliteit ten goede komt, levert marginale verschillen in de berekende stabiliteitsfactoren op. Daarnaast is het zeer waarschijnlijk dat als gevolg van de zeer lage waakhoogten (verschil tussen de waterstand bij norm en de bestaande kruinhoogte) of zelfs overloopsituaties, bij normomstandigheden de waterstand in de waterkering zeer hoog komt te liggen.

Op basis van de gevoeligheden van de bovenstaande parameters kan geconstateerd worden dat het oordeel stabiel is.

7.3.3 Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling STBI

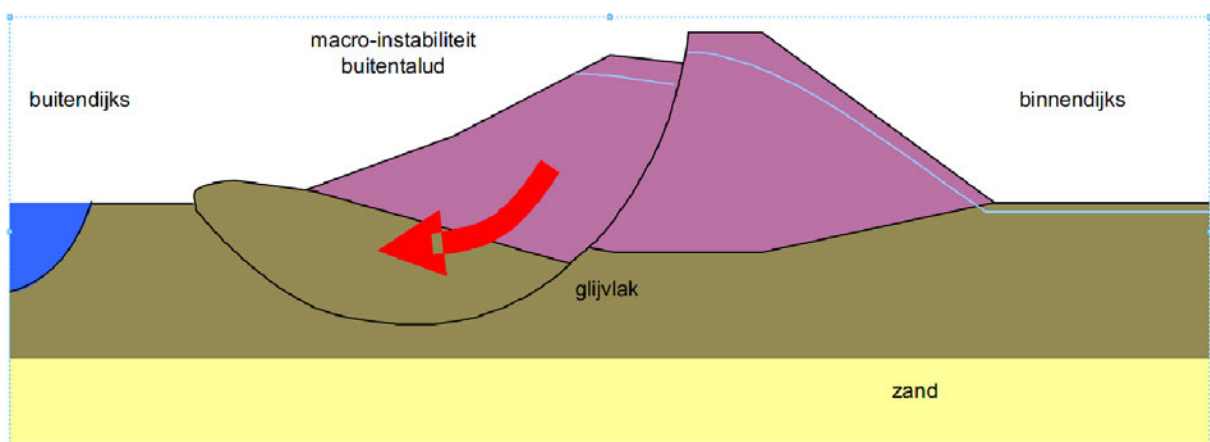
Uit deze veiligheidsbeoordeling voor dijktraject 36-2 komt als resultaat dat het dijktraject niet voldoet aan de ondergrens behorende bij de norm. Met name het veel voorkomende ondergrondscenario met een relatief dunne deklaag in combinatie met de relatief steile binnentaluds geeft hoge faalkansen voor stabiliteit en is hiermee dominant voor het beoordelingsresultaat.

In voorgaande toetsronden was geen sprake van een stabiliteitstekort. Dat in deze beoordelingsronde wel een stabiliteitstekort wordt berekend, zit in de hoge eisen die voortvloeien uit de norm die geldt sinds 1 januari 2017 en de bijbehorende hogere belastingniveaus (waterstanden). Gevolg hiervan is onder andere dat waterlijn op of boven kruinniveau ligt. De huidige waterkering is hier in voorgaande dijkversterkingen niet op ontworpen.

De nieuwe rekenregels, waarbij weinig tot geen sterkte wordt toegekend aan de deklaag achter de dijk bij een opbarstsituatie, alsmede de hogere waterstanden en de aanzienlijk hogere stabiliteitseisen die als gevolg van de nieuwe norm worden gesteld aan de waterkering, vormen de belangrijkste oorzaak van de uitkomsten van deze beoordeling: een uitkomst op trajectniveau die (ruim) niet voldoet aan de gestelde ondergrens.

Hoofdstuk 8 Macrostabieliteit buitenwaarts

Tijdens een hoogwatergolf zal de freatische lijn in de waterkering stijgen. Hierdoor neemt de stabiliteit van de dijk af. De stabiliteit van het buitentalud komt in gevaar als er een zogenaamde 'val' optreedt van de buitenwaterstand. Dit wil zeggen dat de buitenwaterstand dusdanig snel daalt dat de freatische lijn in de dijk niet voldoende tijd heeft om te volgen. De schuifsterkte van de verzadigde ondergrond is relatief laag. Ook draagt het relatief hoge gewicht van de verzadigde grond in het dijklichaam bij aan het aandrijvend moment. Het gevolg is dat het buitentalud kan afschuiven langs een gebogen of een recht glijvlak. Binnen de Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 wordt dit mechanisme beschreven als macrostabieliteit buitenwaarts (STBU).



Figuur 14: Een visualisatie van macrostabieliteit buitenwaarts (Fenomenologische beschrijving, 't Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De beoordeling van STBU is uitgevoerd met dezelfde methodiek, uitgangspunten en vakindelingen zoals STBI. Deze punten worden in dit hoofdstuk niet opnieuw herhaald, hiervoor wordt verwezen naar Hoofdstuk 7. Dit hoofdstuk geeft beschrijft enkel het beoordelingsresultaat en duiding hiervan voor STBU.

8.1.1 Resultaten STBU

Om tot een veiligheidsoordeel te komen is direct een toets op maat uitgevoerd. Met behulp van D-Geostability, versie 17.1, zijn de toetsoordelen per vak berekend. In Tabel 11 is te zien dat de vakken in traject 36-2 voor het mechanisme STBU toetsoordelen hebben tussen Ilv (*Voldoet aan signaleringswaarde*) en Vv (*Voldoet niet aan de ondergrens*). Met behulp van de Assemblagetool WBI2017 v1.0.1.0 kunnen de toetsoordelen per vak geassembleerd worden tot een toetsoordeel voor het gehele traject. Voor STBU is het toetsoordeel voor traject 36-2 Vt (*Voldoet niet aan de ondergrens*).

Tabel 11: De toetsoordelen per vak voor het mechanisme STBU. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

Dijkvak	Vaknaam	Gedetailleerde toetsresultaat per vak	Toetsoordeel per vak
1	Cuijk – Grave	1,63E-07	Ilv
2	Grave – Keent	2,54E-11	Ilv
3	Neerloon	3,80E-04	Vv
			Vt

8.1.2 Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling STBU

De resultaten voor STBU zijn positiever dan de resultaten van STBI. Dit is in lijn met de verwachting van de beheerder. In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat bij rivierdijken in het boevenrivierengebied de val na hoogwater geleidelijk zal gaan. Hierdoor is de belasting op het buitentalud geringer dan bij situaties langs de kust. Dit wordt ook bevestigd door de ervaringen langs dit dijktraject na hoogwaters in het verleden.

Hoofdstuk 9 Kunstwerken

Voor kunstwerken worden vier faalmechanismen onderscheiden, namelijk:

- Falen waterkering door overslag/overloop van het kunstwerk: Hoogte HTKW.
- Falen waterkering door niet sluiten keermiddelen van het kunstwerk: Betrouwbaarheid sluiting BSKW
- Falen waterkering door achter- of onderloopsheid van het kunstwerk: Piping, PKW.
- Falen waterkering door gebrek aan sterkte van het kunstwerk:
 - Sterkte en stabiliteit puntconstructie STKWP.
 - Sterkte en stabiliteit langsconstructie STKWL.

Bij aanvang van de beoordeling van traject 36-2 is een afweging gemaakt of een toets op maat met minder inspanning tot een vergelijkbaar resultaat leidt als het toepassen van de voorschriften uit het WBI 2017. Door een externe expert (zie bijlage H) is geadviseerd dat met behulp van een toets op maat faalkansen berekend kunnen worden die tot uitkomsten leiden die vergelijkbaar zijn met het WBI 2017-instrument Ringtoets. Conform paragraaf 3.1.3 van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage I Regeling veiligheid primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving, 2016) is daarom gekozen om een toets op maat uit te voeren voor de vijf mechanismen voor kunstwerken.

9.1 Uitgangspunten Kunstwerken

Voor de beoordeling van de mechanismen voor kunstwerken zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Om de uitkomsten van de toets op maat te koppelen aan een veiligheidsoordeel is er gebruik gemaakt van de standaardfaalkansverdeling van het WBI.
- Bij de toets op maat wordt gebruik gemaakt van de toetsrapportages, VNK2-rapportages en tekeningen en berekeningen van de kunstwerken.
- De hydraulische randvoorwaarden die zijn gebruikt zijn van de WBI database [WBI2017_Bovenmaas_36-2_v02]. De database is gebruikt in combinatie met Hydra-NL (versie 2.3.2) en Riskeer (versie 17.1.1).

Voor meer achtergrondgegevens over de uitgangspunten wordt verwezen naar Bijlage H – Achtergrondrapport Kunstwerken traject 36-2.

9.2 Kunstwerken binnen traject 36-2

Binnen traject 36-2 zijn 10 kunstwerken in de primaire waterkering. Tabel 12 geeft een overzicht van deze kunstwerken.

Tabel 12: Overzicht van de kunstwerken in de primaire kering in traject 36-2

Kunstwerknaam	Kunstwerknummer	Kenmerk kunstwerk
Gemaal en riooloverstort Cuijk Haven	KW178	Aangesloten op riolering, risico voor de waterkering beperkt
Keersluis Cuijk	KW188	Groot kunstwerk, bij falen sprake van bres in waterkering
Persleiding gemaal Sluisgraaf	KW197	Gemaal met twee keermiddelen, risico voor waterkering beperkt
Uitwateringssluis Tochtsloot	KW232	Koker (1,6×1,8 m), bij falen sprake van enig risico voor waterkering
Uitwateringssluis Gasselseloop	KW245	Koker (1,6×1,8 m), bij falen sprake van enig risico voor waterkering
Raamsluis Grave	KW266	Kokervormige inlaatsluis, bij falen sprake van enig risico voor de waterkering
Coupure Maaspoort Grave	KW269	Beperkte opening, hoge drempel, impact bij falen beperkt, geen bezwijken waterkering
Coupure Maasstraat Grave	KW270	Grote opening, maar wel hoge drempel, impact bij falen beperkt, geen bezwijken waterkering
Uitwateringssluis Havenstraat Grave	KW274	Duiker ø 500 mm, geen risico voor de waterveiligheid
Gemaal van Sasse	KW286	Constructie met 6 watervoerende stroomkanalen waarvan 4 maalgangen. Beperkt risico voor de waterkering door robuustheid constructie en aanwezigheid van vier pompen in het gemaal.

9.3 Veiligheidsoordeel kunstwerken

Zoals eerder toegelicht is direct een toets op maat uitgevoerd. In paragraaf 9.3.1 worden de beoordelingsresultaten voor de kunstwerken op vak- en trajectniveau toegelicht. In paragraaf 7.3.3 wordt de duiding van de resultaten toegelicht.

9.3.1 Resultaten kunstwerken

Om tot een veiligheidsoordeel te komen is direct een toets op maat uitgevoerd. Dit betreft de beoordeling van een tiental kunstwerken die in het dijktraject 36-2 aanwezig zijn. De beoordeling heeft plaatsgevonden op basis van de actuele hydraulische randvoorwaarden en de achtergronden behorende bij het WBI2017. De in dit rapport bepaalde faalkansen zijn op globale wijze berekend, maar uit ervaringen is bekend dat deze benadering leidt tot uitkomsten die vergelijkbaar zijn met uitkomsten die met een geheel probabilistisch instrumentarium zoals het WBI2017 instrument Riskeer worden berekend.

Tabel 13: De toetsoordelen per kunstwerk voor de vijf mechanismen van kunstwerken. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

Kunstwerk	HTKW	BSKW	STKWp	PKW
KW178 Riooloverstort en gemaal Cuijk haven	n.v.t.	II _v	I _v	II _v
KW188 Keersluis Cuijk	IV _v	IV _v	IV _v	II _v
KW197 Persleiding gemaal Sluisgraaf	n.v.t.	I _v	II _v	II _v
KW232 Uitwateringssluis Tochtsloot	n.v.t.	III _v	II _v	II _v
KW245 Uitwateringssluis Gasselseloop	n.v.t.	III _v	II _v	II _v
KW266 Raamsluis Grave	II _v	IV _v	I _v	II _v
KW269 Coupure Maaspoort Grave	V _v	II _v	IV _v	II _v
KW270 Coupure Maasstraat Grave	IV _v	II _v	IV _v	II _v
KW274 Uitwateringssluis Havenstraat Grave	n.v.t.	I _v	I _v	II _v
KW286 Gemaal van Sasse	IV _v	IV _v	II _v	II _v

In Tabel 13 is te zien dat de kunstwerken toetsoordelen hebben tussen I_v (*voldoet ruim aan de signaleringswaarde*) en IV_v (*voldoet aan de signaleringswaarde*). De toetsoordelen per vak per mechanisme kunnen geassembleerd worden tot toetsoordelen op trajectniveau, zie Tabel 14.

Tabel 14: Overzicht beoordelingsresultaten per toetsspoor op trajectniveau

Toetsspoor	Categorie	Omschrijving categorie
Hoogte (HTKW)	V _t	Voldoet niet aan de ondergrens. Dit is gebaseerd op de gemaakte beoordelingen, maar ook op het algehele beeld van het dijktraject waar een tekort aan kerende hoogte duidelijk waarneembaar is. Voor hoogte geldt dat het toetsspoor zowel de dijken als de kunstwerken bevat.
Betrouwbaarheid sluiting (BSKW)	IV _t	Voldoet mogelijk aan de ondergrens. Wanneer de in dit document berekende faalkansen worden gesommeerd wordt een faalkans voor <i>betrouwbaarheid sluiting</i> van circa $8,0 \cdot 10^{-5}$ per jaar gevonden. Dit is kleiner dan de trajecteis voor de ondergrens ($1/10.000 = 1,0 \cdot 10^{-4}$) maar groter dan de faalkansruimte voor <i>betrouwbaarheid sluiting</i> voor het traject ($= 0,04 \times 1/10.000 = 1/250.000 = 4,0 \cdot 10^{-6}$ per jaar).
Piping en heave (PKW)	II _t	Voldoet aan de signaleringswaarde. Er is bij geen van de kunstwerken sprake van een risico ten aanzien van <i>piping</i> .
Sterkte en Stabiliteit kunstwerk (STKWp)	IV _t	Voldoet mogelijk aan de ondergrens. Maatgevend voor dit toetsspoor zijn de resultaten met betrekking tot sterkte van de constructieonderdelen. De resultaten ten aanzien van stabiliteit van de constructie zijn dusdanig dat die niet substantieel bijdragen aan de risico's van dit toetsspoor. Vanuit de sterkte van de constructieonderdelen is de basis voor de categorie IV _t indeling de beoordeling van de keersluis Cuijk, de coupure Maaspoort Grave en de coupure Maasstraat Grave. De verwachting is dat met name voor de laatste coupure geldt dat een nadere analyse van de keermiddelen nog kan leiden tot een positieve bijstelling van het oordeel. Voor de coupure Maaspoort Grave is dit wat minder zeker omdat hier metselwerk het maatgevende onderdeel zal zijn. Wanneer dan ook nog keersluis Cuijk niet wordt meegenomen (bv na versterking) is een score II _t mogelijk.

9.3.2 Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling Kunstwerken

Het tekort aan kerende hoogte van het gehele dijktraject 36-2 is ook zichtbaar bij een deel van de kunstwerken. Daar waar een kunstwerk verantwoordelijk is voor de kerende hoogte wordt meestal niet voldaan aan de eisen op vakniveau.

Voor piping geldt dat overal wordt voldaan aan de eisen en dat dit geen bijdrage heeft aan het overstromingsrisico van het dijktraject. Mede omdat de categorisering van dit faalmechanisme nog conservatief is ingestoken.

In zijn algemeenheid kan geconcludeerd worden dat op een aantal onderdelen de kunstwerken een bijdrage hebben aan de faalkans op trajectniveau maar dat deze in vergelijking met de andere bepalende faalmechanismen als piping, stabiliteit en de bekleding sporen op het binnentalud, gering is.

9.3.3 Gemaal van Sasse

In deze beoordeling is bijzondere aandacht uitgegaan naar het gemaal van Sasse. Dit gemaal is in 2013 gerenoveerd. Voor dit gemaal is ten behoeve van de financieringsregeling van het HWBP zowel de situatie voor 2013 als de huidige situatie met peildatum 2023 beoordeeld. Het is vanuit deze regeling nodig om voor beide beoordelingen (situatie 2012 en 2023) instemming van de ILT te krijgen dat deze conform WBI2017-methode zijn beoordeeld.

Bij de reconstructie van gemaal van Sasse te Grave is in 2013 is door het waterschap besloten om vanuit doelmatigheidsoverwegingen te anticiperen op de toen nog toekomstige nieuwe normering. Uitgaande van een forse waterstandsverhoging (ca.1 m) in de toekomst zou het gemaal niet meer stabiel zijn en niet meer voldoen aan de onder- en achterloopsheidscriteria. Dit blijkt uit het onderzoek van destijds en uit de recente beoordeling van de situatie voor 2013 met het WBI2017. Om evidente ondoelmatigheid te voorkomen zijn de benodigde maatregelen voor gemaals- en waterkeringsfunctie destijds integraal uitgevoerd.

Inmiddels is de nieuwe situatie beoordeeld op basis van het WBI 2017 en blijkt dat de in 2013 uitgevoerde verbeteringen ten behoeve van piping en de stabiliteit voldoen aan de norm. In bijlage I is de veiligheidsanalyse voor gemaal van Sasse opgenomen.

9.3.4 Vestingmuren Grave

De oude vestingstad Grave ligt direct aan de zuidzijde van de rivier de Maas. De hoogwaterkering ter plaatse van de vestingstad bestaat uit kademuren. De kademuren van Grave zijn feitelijk oude vestingmuren, waarvan de oorsprong al dateert uit de 16de eeuw tijdens de Spaanse overheersing

Vanuit de WBI-systematiek zijn de kademuren te beschouwen als langsconstructies (STKWI). In deze beoordeling is een toets op maat uitgevoerd omdat voor de historische kademuren geen recent voorgeschreven ontwerpmethodiek is gehanteerd, zoals voorgeschreven staat in hoofdstuk 21 van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving, 2016). In bijlage J is een veiligheidsbeoordeling van de kadeconstructie te Grave opgenomen.

Resultaat beoordeling kademuren Grave

De vestingwerken bij Grave, die momenteel als (hoog)waterkering fungeren, zijn op te splitsen in een viertal deeltrajecten. Deze trajecten zijn in het licht van de nieuwe normering op de relevante faalmechanismen beschouwd. In onderstaande tabel zijn de resultaten hiervan samengevat.

Tabel 15: Resultaten beoordeling kademuren Grave; O=onvoldoende V=voldoende

Vaknaam	Signaleringswaarde			Ondergrenswaarde		
	Hoogte	Stabiliteit	Piping	Hoogte	Stabiliteit	Piping
Oude haven	O	V	V	O	V	V
Gerestaureerde kademuur	O	V	V	O	V	V
Oude vestingmuren	V	V	V	V	V	V
Havenplan de Kloppert	O	V	V	O	V	V

Op basis van bovenstaande tabel blijkt dat de kerende hoogte op drie van de vier deeltrajecten niet voldoet aan de eisen. Voor de Oude Haven geldt dat de kop van de haven dusdanig laag is dat deze onder de waterstand bij de ondergrenswaarde van de norm ligt. Dat betekent dat hier sprake is van een overloopsituatie. De rest van de waterkering in de Oude Haven is wel hoog genoeg om het waterpeil bij de ondergrenswaarde van de norm te keren. Met betrekking tot het peil bij signaleringswaarde blijkt dat naast de kop van de haven ook een gedeelte langs de Prinsental niet hoog genoeg is om dat peil te keren.

Hierbij moet wel worden opgemerkt dat door het tekort aan hoogte het optreden van mechanismen als GEKB en GABI niet waarschijnlijk is, omdat direct achter de kering het maaiveld op vergelijkbare hoogte ligt of iets lager dan de kademuren. Het gaat dan vooral om bebouwd gebied en van een grasmat is geen sprake. Het water zal echter wel met substantiële hoeveelheden over de kades het bebouwde gebied van Grave inlopen en kan hier lokaal tot gevaarlijke situaties leiden en schade. Een overstroming die grote delen van het achterliggende gebied zal treffen is echter niet voor de hand liggend.

Hoofdstuk 10 Indirecte toetssporen

Een indirect toetsspoor is een toetsspoor dat niet direct leidt tot falen van de waterkering, maar de kans op falen door een direct toetsspoor vergroot. Deze toetssporen tellen niet mee met het veiligheidsoordeel.

10.1 Voorland toetssporen

De voorlandsporen golfafslag voorland (VLGA), Afschuiving voorland (VLAF) en zettingsvloeiing voorland (VLZV) worden gekenmerkt als indirecte toetssporen.

In de voorgaande toetsrondes is voor het gehele traject een positief oordeel gegeven voor de voorlandsporen. Hoewel de beoordeling van deze sporen in het WBI 2017 op enkele punten verschilt van de toetsing in voorgaande rondes, kan wel worden geconcludeerd op basis van de voorgaande toetsrondes dat de voorlandsporen een verwaarloosbare bijdrage hebben aan de faalkans op trajectniveau. De belangrijkste oorzaak hiervan ligt in de omstandigheden die bepalend zijn voor de uitkomsten (veelal meerdere tientallen meters met kleidek) in combinatie met de diepte van de geul (ca. 6 meter) en de golfcondities (altijd kleiner dan 1,0 meter). Deze omstandigheden zijn niet veranderd.

10.2 Niet waterkerende objecten

Op basis van de resultaten van de directe toetssporen blijkt dat dijktraject 36-2 niet voldoet aan de ondergrens en hiermee vervalt de relevantie van de veiligheidsbeoordeling van de niet waterkerende objecten (NWO). In de regeling, bijlage 3, wordt in hoofdstuk 25 (NWO) beschreven dat deze relevantie afweging onderdeel is van de beoordeling. In stap 1 in de eenvoudige toets voor NWO (stap E.1) wordt gevraagd of de waterkering voldoet zonder NWO's, als het antwoord hierop 'nee' is dan is de beoordeling van de NWO's niet van toepassing.

Hoofdstuk 11 Veiligheidsoordeel 36-2

Tabel 16 geeft een overzicht van de oordelen per mechanisme binnen traject 36-2.

Tabel 16: De toetsoordelen per mechanisme. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

Toetsspoor	Code	categorie
Macrostabiliteit binnenwaarts	STBI	Vlt
Macrostabiliteit buitenwaarts	STBU	Vt
Piping	STPH	Vlt
Grasbekleding erosie buitentalud	GEBU	Ilt
Grasbekleding afschuiven buitentalud	GABU	Ilt
Grasbekleding erosie kruin en binnentalud	GEKB	Vt
Grasbekleding afschuiven binnentalud	GABI	Vt
Hoogte kunstwerk	HTKW	Vt
Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk	BSKW	IVt
Piping bij kunstwerk	PKW	Ilt
Sterkte en stabiliteit puntconstructies	STKWp	IVt
Sterkte en stabiliteit langsconstructies	STKWI	It
Stabiliteit steenzetting	ZST	It

Met behulp van de Assemblagetool WBI 2017 v1.0.1.0 kunnen de toetsoordelen per mechanisme geassembleerd worden tot een veiligheidsoordeel voor het gehele traject. Traject 36-2 heeft het oordeel D (Voldoet ruim niet aan ondergrens).

Tabel 17: het Assemblageresultaat van het veiligheidsoordeel

Combineren van toetssporen	categorie	benaderde faalkans
Toetssporen in groep 1 en 2	D	2,51E-01
Toetssporen in groep 3 en 4	C	
Combineren tot veiligheidsoordeel	D	

11.1 Duiding beoordelingsresultaat traject 36-2

De relatief grote afstand tot de norm wordt voor dijktraject 36-2 bepaald door een combinatie van faalmechanismen die niet voldoen aan de gestelde ondergrens in de norm.

Er zijn verschillende achterliggende oorzaken die hieraan debet zijn, de belangrijkste is echter de normsprong die het dijktraject maakt met de bijbehorende hogere waterstanden. De waterstanden die met het WBI worden berekend, liggen in de orde grootte 0,5 - 1,0 meter hoger dan de waterstanden behorende bij de norm tot 1 januari 2017. De waterkering in dijktraject 36-2 is veelal niet hoog genoeg en hierdoor ontstaat op grote strekkingen een overloop situatie. Dit vindt zijn weerslag in de grasbekleding sporen voor het binnentalud (GEKB en GABI). Ook voor macrostabiliteit werd snel

duidelijk dat niet aan de norm kan worden voldaan omdat door de hogere waterstand in de berekeningen moet worden uitgegaan van een volledig verzadigd grondlichaam, hetgeen leidt tot lagere stabiliteit van de dijk.

Voor het faalmechanisme piping wordt de grootste afstand tot de norm gevonden. De berekende faalkansen zijn zodanig hoog dat een faalkans op trajectniveau onder de 1/100 per jaar wordt berekend. Bij dergelijke hoge faalkansen kan de vraag worden gesteld hoe realistisch de uitkomsten zijn omdat de waterkering die er nu ligt dergelijke omstandigheden heeft meegemaakt en niet is bezweken. Voor een deel ligt de verklaring in de uitgangspunten die in het WBI worden gehanteerd. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat tijdens de hoogwaters midden jaren negentig op meerdere locaties zandmeevoerende wellen zijn geconstateerd en opgekist. Dit waren hoogwatergolven met een herhalingsstijd rond de 1/100 per jaar met waterstanden die fors lager liggen (ca. 1,5 meter) dan de huidige normwaterstanden.

Alles afwegende kan worden gesteld dat de berekende faalkansen voor piping voor tenminste een aantal vakken te hoog lijken. Gevoeligheidsanalyses waarbij wordt uitgegaan van gunstigere omstandigheden voor bijvoorbeeld bodemopbouw en in en uittredepunt leveren weliswaar lagere faalkansen op maar geen ander veiligheidsoordeel.

Het tekort aan kerende hoogte van het gehele dijktraject 36-2 is ook zichtbaar bij een deel van de kunstwerken en een deel van de kademuuren in Grave. Voor de kunstwerken en delen van de vestingmuur in Grave kan geconcludeerd worden dat met name het tekort aan kerende hoogte een bijdrage levert aan de faalkans op trajectniveau maar dat deze in vergelijking met de andere bepalende faalmechanismen als piping, macrostabiliteit en de bekledingssporen op het binnentalud, gering is.

Omdat op meerdere toetssporen tot een resultaat wordt gekomen waarbij niet of ruim niet wordt voldaan aan de ondergrens op trajectniveau, vervalt de mogelijkheid om zodanig te optimaliseren met de faalkansruimte per toetsspoor, dat tot een beter eindoordeel kan worden gekomen.

De hierboven beschreven constatering, in combinatie met de hoge eisen waaraan de waterkering in traject 36-2 moet voldoen als gevolg van de nieuwe norm, zorgen voor het resultaat waarbij de waterkering ruim niet voldoet aan de ondergrens en een veiligheidsoordeel categorie D wordt toegekend.

Voor een uitgebreidere duiding van de resultaten wordt verwezen naar de duiding die is gegeven per beoordelingsspoor.

Het traject is over de gehele lengte beoordeeld er zijn geen vakken of kunstwerken niet beoordeeld. In tabel 18 wordt een overzicht gegeven van alle beoordeelde toetssporen per toetsvak. Hieruit komt naar voren dat er altijd sprake is van tenminste van 1 maar meestal van 2 of 3 toetssporen die lager scoren dan de ondergrens.

Tabel 17: Assemblageresultaat vakoorden van alle directe toetssporen

Vakindeling	36-2		Toetsresultaat per toetsspoor per vak							
kilometrerings van	tot	Totaal vakoordeel	STBI	STBU	STPH	GEBU	GABU	GEKB	GABI	ZST
0	437.5	Vv	Vv	IIv	IVv	IIv	IIv	IIIv	Vv	-
437.5	669.2	Vv	Vv	IIv	IVv	IIv	IIv	IIIv	Vv	-
669.2	787	Vv	Vv	IIv	IVv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
787	1041.5	Vv	Vv	IIv	Vv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
1041.5	1382.2	Vv	Vv	IIv	Vv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
1382.2	1888.5	Vv	Vv	IIv	Vv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
1888.5	1933	Vv	Vv	IIv	Vv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
1933	2000	Vv	Vv	IIv	Vv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
2000	2909	Vv	Vv	IIv	Vv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
2909	2985.4	Vv	Vv	IIv	Vv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
2985.4	3084	Vv	Vv	IIv	Vv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
3084	3585	VIv	Vv	IIv	VIv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
3585	3756	Vv	Vv	IIv	IVv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
3756	4388	Vv	Vv	IIv	IVv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
4388	4615	Vv	Vv	IIv	IVv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
4615	5200	Vv	Vv	IIv	IVv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
5200	5473.5	Vv	Vv	IIv	IVv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
5473.5	6118.4	Vv	Vv	IIv	IVv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
6118.4	6383.5	Vv	Vv	IIv	IVv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
6383.5	7124	Vv	Vv	IIv	IVv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
7124	7342	Vv	Vv	IIv	Vv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
7342	7708	Vv	Vv	IIv	Vv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
7708	7898.9	VIv	Vv	IIv	VIv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
7898.9	8118	VIv	Vv	IIv	VIv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
8118	8922	Vv	Vv	IIv	IVv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
8922	9183	Vv	Vv	IIv	Vv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
9183	9312	Vv	Vv	IIv	Vv	IIv	IIv	IVv	Vv	-
9312	9312.4	Vv	Vv	IIv	Vv	IIv	IIv	IVv	Vv	IV
9312.4	9316	Vv	Vv	IIv	Vv	IIv	IIv	IV	IIv	IV
9316	9900	Vv	Vv	IIv	IV	IIv	IIv	IV	IIv	IV
9900	10223	Vv	Vv	IIv	IV	IIv	IIv	IV	IIv	IV
10223	10223.3	Vv	Vv	IIv	IV	IIv	IIv	IV	IIv	-
10223.3	10252	Vv	Vv	IIv	IV	IIv	IIv	IVv	IIv	-
10252	11069	Vv	Vv	IIv	IV	IIv	IIv	IVv	IIv	-
11069	11366	VIv	Vv	IIv	VIv	IIv	IIv	IVv	IIv	-
11366	11383.8	VIv	Vv	IIv	VIv	IIv	IIv	IVv	IIv	-
11383.8	11800	VIv	Vv	IIv	VIv	IIv	IIv	IIIv	Vv	-
11800	12009	VIv	Vv	IIv	VIv	IIv	IIv	IIIv	Vv	-
12009	12381.9	VIv	Vv	IIv	VIv	IIv	IIv	IIIv	Vv	-
12381.9	12650	VIv	Vv	IIv	VIv	IIv	IIv	IVv	Vv	-

12650	13312	Vlv	Vv	Ilv	Vlv	Ilv	Ilv	IVv	Vv	-
13312	13339.5	Vlv	Vv	Ilv	Vlv	Ilv	Ilv	IVv	Vv	-
13339.5	13721.7	Vlv	Vv	Ilv	Vlv	Ilv	Ilv	IVv	Vv	-
13721.7	13815	Vlv	Vv	Ilv	Vlv	Ilv	Ilv	IVv	Vv	-
13815	14250	Vv	Vv	Ilv	Vv	Ilv	Ilv	IVv	Vv	-
14250	14278	Vv	Vv	Ilv	Vv	Iv	Ilv	IVv	Vv	-
14278	14618.8	Vv	Vv	Ilv	Vv	Iv	Ilv	IVv	Vv	-
14618.8	14815	Vv	Vv	Ilv	Vv	Iv	Ilv	IVv	Vv	-
14815	15364.5	Vv	Vv	Ilv	Vv	Iv	Ilv	IVv	Vv	-
15364.5	15411.7	Vv	Vv	Ilv	Vv	Iv	Ilv	IVv	Vv	-
15411.7	15918	Vv	Vv	Ilv	Vv	Iv	Ilv	Vv	Vv	-
15918	16617.5	Vv	Vv	Ilv	Vv	Iv	Ilv	Vv	Vv	-
16617.5	16621	Vv	Vv	Ilv	Vv	Iv	Ilv	Vv	Vv	-
16621	16654.2	Vv	Vv	Ilv	Vv	Iv	Ilv	Vv	Vv	-
16654.2	16792.1	Vv	Vv	Ilv	Vv	Iv	Ilv	IVv	Vv	-
16792.1	17530	Vv	Vv	Ilv	Vv	Iv	Ilv	IVv	Vv	-
17530	17875.3	Vlv	Vv	Ilv	Vlv	Iv	Ilv	IVv	Vv	-
17875.3	17877.5	Vlv	Vv	Ilv	Vlv	Iv	Ilv	IVv	Vv	-
17877.5	18200	Vlv	Vv	Ilv	Vlv	Iv	Ilv	IVv	Vv	-
18200	18429	Vlv	Vlv	Vv	Vlv	Iv	Ilv	IVv	Vv	-
18429	18550	Vlv	Vlv	Vv	Vlv	Iv	Ilv	IVv	Vv	-
18550	18815.1	Vlv	Vlv	Vv	Vlv	Ilv	Ilv	IVv	Vv	-
18815.1	18841	Vlv	Vlv	Vv	Vlv	Ilv	Ilv	IVv	Vv	-
18841	19217.2	Vlv	Vlv	Vv	Vlv	Ilv	Ilv	IVv	Vv	-
19217.2	19250	Vlv	Vlv	Vv	Vlv	Ilv	Ilv	IVv	Vv	-
19250	19333.5	Vlv	Vlv	Vv	Vlv	Ilv	Ilv	IVv	Vv	-
19333.5	19761.6	Vlv	Vlv	Vv	Vlv	Ilv	Ilv	IVv	Vv	-
19761.6	20269	Vlv	Vlv	Vv	Vlv	Ilv	Ilv	IVv	Vv	-
20269	20358.8	Vlv	Vlv	Vv	Vlv	Ilv	Ilv	IVv	Vv	-
20358.8	20516.8	Vlv	Vlv	Vv	Vlv	Ilv	Ilv	IVv	Vv	-
20516.8	21020	Vlv	Vlv	Vv	Vlv	Ilv	Ilv	IVv	Vv	-

Hoofdstuk 12 Beheersmaatregelen

De wet schrijft voor dat als de beoordeling van de veiligheid daartoe aanleiding geeft, de rapportage een omschrijving bevat van de voorzieningen die op een daarbij aan te duiden termijn nodig worden geacht (artikel 2.12, zesde lid, van de Waterwet).

De resultaten van de veiligheidsbeoordeling van dijktraject 36-2 duiden op een relatief grote afstand tot de norm. Dit komt door een combinatie van faalmechanismen die (ruim) niet voldoen aan de gestelde ondergrens in de norm. Het traject is derhalve aangemeld voor het HWBP programma 2019-2022. Ondanks het gegeven dat het dijktraject pas in 2050 aan de norm hoeft te voldoen en de dijkverbetering dan zal zijn uitgevoerd, voelt het waterschap als beheerder de verantwoordelijkheid om de resultaten van de beoordeling te implementeren in haar calamiteitenplannen totdat de dijk versterkt is.

Om het risico op piping beter in beeld te brengen, heeft het waterschap peilbuizen geplaatst. Zo kan het risico bij een hoogwater beter worden bepaald en wordt waardevolle data voor het ontwerp van de waterkering verzameld. Een goede meting is wel afhankelijk van een substantieel hoogwater waarbij de uiterwaarden onderlopen, dit komt niet jaarlijks voor.

Een andere maatregel die het waterschap op korte termijn wil implementeren is het uitbreiden van de beschermingszone van de waterkering. Het belangrijkste doel hiervan is om het aanwezige voorland met vaak een kleidek vast te leggen omdat hierin de benodigde verlenging van de kwelweg van het grondwater wordt gevonden om piping tegen te gaan.

Verder zijn er ideeën om de sterkte van de waterkering in beeld te brengen bij hoogwatersituaties die minder extreem zijn. Met zogenaamde fragility curves kan het risico voor een bepaald faalmechanisme voor een dijkvak in beeld worden gebracht gerelateerd aan een oplopende buitenwaterstand. Zo vindt een betere uitkartering van potentiële risicolocaties plaats langs het traject, gerelateerd aan verschillende waterstanden. Ter illustratie, bij waterstanden die enkele decimeters lager zijn dan de huidige kruinhoogte maar waarbij nog steeds sprake is van een zeldzaam hoogwater, zullen de toetssporen GEKB en GABI voldoen. Ook de macrostabiliteit binnenwaarts zal substantieel beter worden. Piping is daarentegen minder gevoelig voor een daling van enkele decimeters in de waterstand. Ondanks dat het pipingprobleem aanwezig blijft is de beheersbaarheid substantieel hoger dan in de situatie waarbij sprake is van de normwaterstand.

Hoofdstuk 13 Referentielijst

Rijkswaterstaat, „Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage II Voorschriften bepaling hydraulische belasting primaire waterkeringen,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017.

Rijkswaterstaat, „Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017.

Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving, „Schematiseringshandleiding grasbekleding, WBI 2017,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 1 december 2016.

Rijkswaterstaat, „Schematiseringshandleiding piping, WBI 2017,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 09-2016.

Rijkswaterstaat, „Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage I Procedure,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017.

Rijkswaterstaat, „Referentiewaarden waterstanden_tcm174-310220.pdf”.

NEN, „NEN 9997-1+C1,” april 2012.

Rijkswaterstaat, „Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, WBI2017,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 12-2016.

Actueel Hoogtebestand Nederland, „AHN2,” 2007-2012.