

Inspectie Leefomgeving en Transport

Postbus 16191  
2500 BD S-GRAVENHAGE

Datum 12 juni 2018  
Ons kenmerk [REDACTED]  
Doorkiesnr. [REDACTED]  
Onderwerp Rapportage veiligheidsbeoordeling  
dijktraject 36-1, Boxmeer-Cuijk

Geachte [REDACTED]

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.

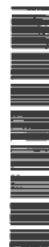
Hierbij bieden wij u de bestuurlijk vastgestelde rapportage aan van dijktraject 36-1, gelegen langs de Maas tussen Boxmeer en Cuijk.

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

Hoogachtend,  
Het Dagelijks Bestuur,

de secretaris, [REDACTED]

de dijkgraaf, [REDACTED]



# Rapportage Veiligheidsbeoordeling

## Dijktraject 36-1

### Boxmeer - Cuijk



's-Hertogenbosch mei 2018

Definitieve versie 1.0

# Inhoudsopgave

---

Samenvatting	4
Inleiding	5
1.1	Leeswijzer.....6
1.2	Algemene uitgangspunten en randvoorwaarden .....6
1.2.1	Beschrijving traject.....6
1.2.2	Dijkvak Parkbos .....8
1.2.3	Hydraulische belasting.....8
1.2.4	Veiligheidsnormen .....9
1.2.5	Veiligheidsnorm per faalmechanisme en per vak .....9
1.2.6	Veiligheidsoordeel .....10
1.2.7	Veiligheidsoordeel dijktraject .....11
Hoofdstuk 2	Grasbekleding erosie buitentalud .....12
2.1.1	Uitgangspunten GEBU .....13
2.1.2	Trajectbeschrijving GEBU.....13
2.1.3	Vakindeling GEBU .....13
2.2	Veiligheidsoordeel GEBU .....14
2.2.1	Gevoeligheid resultaten GEBU .....16
2.2.2	Duiding.....17
Hoofdstuk 3	Grasbekleding afschuiven buitentalud .....18
3.1.1	Uitgangspunten GABU .....18
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.....22
Hoofdstuk 4	Grasbekleding erosie kruin en binnentalud.....23
4.1.1	Uitgangspunten GEKB.....24
4.1.2	Trajectbeschrijving GEKB .....24
4.1.3	Vakindeling GEKB .....25
4.2	Veiligheidsoordeel GEKB.....25
4.2.1	Toepassingscriteria gedetailleerde toets GEKB.....25
4.2.2	Toets op maat GEKB .....26
4.2.3	Veiligheidsoordeel GEKB.....26
4.2.4	Gevoeligheid resultaten GEKB .....29
4.2.5	Duiding.....29
Hoofdstuk 5	Grasbekleding afschuiven binnentalud .....31
5.1.1	Uitgangspunten GABI .....31
5.1.2	Trajectbeschrijving GABI .....32
5.1.3	Vakindeling GABI.....32
5.2	Veiligheidsoordeel GABI .....32

5.2.1	Gevoeligheid resultaten GABI.....	35
5.2.2	Duiding.....	35
Hoofdstuk 6	Piping.....	36
6.1.1	Uitgangspunten STPH .....	37
6.1.2	Trajectbeschrijving STPH .....	37
6.1.3	Vakindeling STPH.....	38
6.2	Veiligheidsoordeel STPH.....	38
6.2.1	Beoordeling STPH .....	39
6.2.2	Gevoeligheid resultaten STPH.....	42
6.2.3	Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling STPH .....	44
Hoofdstuk 7	Microstabiliteit .....	46
7.1.1	Trajectbeschrijving STMI .....	47
7.1.2	Vakindeling STMI.....	47
7.2	Veiligheidsoordeel STMI .....	47
7.2.1	Beoordeling STMI .....	48
7.2.2	Gevoeligheid resultaten STMI.....	51
7.2.3	Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling STMI .....	51
Hoofdstuk 8	Macrostabiliteit binnenwaarts.....	52
8.1.1	Uitgangspunten STBI.....	52
8.2	Trajectbeschrijving STBI .....	53
8.2.1	Vakindeling STBI .....	53
8.2.2	Hydraulische belastingen STBI.....	54
8.3	Veiligheidsoordeel STBI .....	54
8.3.1	Resultaten STBI.....	54
8.3.2	Gevoeligheid resultaten STBI .....	55
8.3.3	Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling STBI.....	56
Hoofdstuk 9	Macrostabiliteit buitenwaarts.....	57
9.1.1	Resultaten STBU .....	57
9.1.2	Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling STBU .....	59
Hoofdstuk 10	Kunstwerken .....	60
10.1	Uitgangspunten Kunstwerken .....	60
10.2	Kunstwerken binnen traject 36-1 .....	61
10.3	Veiligheidsoordeel kunstwerken .....	61
10.3.1	Resultaten kunstwerken.....	62
10.3.2	Kadeconstructie Maasboulevard.....	63
10.3.3	Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling Kunstwerken .....	64
Hoofdstuk 11	Indirecte en overige toetssporen.....	65
11.1	Voorland toetssporen.....	65
11.1.1	Uitgangspunten:.....	65
11.1.2	Golfslag Voorland (VLGA) .....	65
11.1.3	Afschuiving Voorland (VLAF).....	66
11.1.4	Zettingsvloeiing Voorland (VLZV) .....	66

11.2	Niet waterkerende objecten .....	67
11.3	Aansluiting hoge grond .....	67
Hoofdstuk 12	Veiligheidsoordeel 36-1 .....	69
12.1	Duiding beoordelingsresultaat traject 36-1.....	70
Hoofdstuk 13	Beheersmaatregelen .....	75
Hoofdstuk 14	Referentielijst .....	76

**Bijlagen:**

A.	Validatiematrix eisen ILT.....	78
B.	Logboek grasbekleding erosie buitentalud .....	79
C.	Logboek grasbekleding afschuiven buitentalud .....	80
D.	Logboek gras erosie kruin en binnentalud .....	81
E.	Logboek grasbekleding afschuiven binnentalud .....	82
F.	Logboek piping .....	83
G.	Logboek macrostabiliteit .....	84
H.	Logboek Kunstwerken .....	85
I.	Beoordeling dijktraject Parkbos .....	86
J.	Logboek microstabiliteit .....	87
K.	Analyse Maasboulevard .....	88
L.	Logboek Voorland.....	89
colofon		90

# 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 36-1 gelegen tussen Boxmeer en Cuijk (Land van Heusden - de Maaskant 1) op basis van het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017 (WBI2017). De peildatum voor deze beoordeling is 1 januari 2023. Het veiligheidsoordeel voor traject 36-1 wordt bepaald door de combinatie van beoordelingen van alle dijkvakken en de kunstwerken. Per beoordeeld vak en kunstwerk is per toetsspoor een oordeel bepaald.

Het **veiligheidsoordeel voor dijktraject 36-1**, Land van Heusden - de Maaskant 1, is **categorie D** en voldoet daarmee ruim niet aan de ondergrensnorm.

De relatief grote afstand tot de norm wordt voor dijktraject 36-1 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 (gedeelte van het traject) en een aantal grasbekledingsporen 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 ordegrootte 0,5 meter hoger dan de waterstanden behorende bij de norm tot 1 januari 2017.

Naast de hogere maatgevende waterstanden zijn ook de eisen die aan de dijk worden gesteld hoger. Ook zijn de inzichten t.a.v. piping veranderd ten opzichte van de vorige beoordelingsronden. Zo werden voorheen bepaalde situaties in dit traject als minder of niet pipinggevoelig beschouwd en deze zelfde situaties zijn volgens de nieuwste inzichten wel pipinggevoelig.

# Inleiding

---

Dit rapport beschrijft het veiligheidsoordeel voor de primaire waterkeringen van het dijktraject 36-1 (Land van Heusden - de Maaskant 1) op basis van het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017 (WBI2017).

Als beheerder van primaire waterkeringen heeft Waterschap Aa en Maas de wettelijke 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 36-1 betekent dat deze veranderingen, in combinatie met een nieuwe norm (signaleringswaarde van 1/10.000 per jaar), naar verwachting leiden tot een resultaat met een ander veiligheidsbeeld dan de voorgaande toetsrondes.

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 tot een zo volledig mogelijk veiligheidsoordeel voor dijktraject 36-1 gekomen, alle relevante sporen zijn zo volledig mogelijk beschouwd middels de WBI-methode.

Voor zowel piping als een aantal bekledingssporen is overleg geweest met experts via de Helpdesk Water. Met name de situatie met graszode op een zandige dijk is een situatie waar het WBI in de gedetailleerde toets niet voorziet. Een toets op maat spoor voor het toetsspoor Gras Erosie Buitentalud (GEBU) is hier verkend maar lijkt op korte tot middellange termijn geen resultaat te kunnen opleveren.

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, (grasbekleding erosie kruin en binnentalud), GEBU (grasbekleding 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. In het vierde kwartaal van 2017 is door het WBI-team gecommuniceerd dat BM Macrostabiliteit nog in ontwikkeling is en het nog fouten bevat. Op 15 december 2017 is een versie van Ringtoets vrijgegeven met een werkende module voor macrostabiliteit. Door de kritieke pad van de planning was het niet mogelijk om op deze release te wachten. Er is daarom gekozen om macrostabiliteit niet met WBI-software te beoordelen. Verder is ook een uitgebreide beoordeling van de kunstwerken uitgevoerd, gedeeltelijk met de software Ringtoets.

Op basis van de uitkomsten van de hierboven genoemde toetsporen zijn de indirecte sporen kwalitatief beschouwd, mede op basis van de resultaten uit de voorgaande toetsrondes.

Een 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**

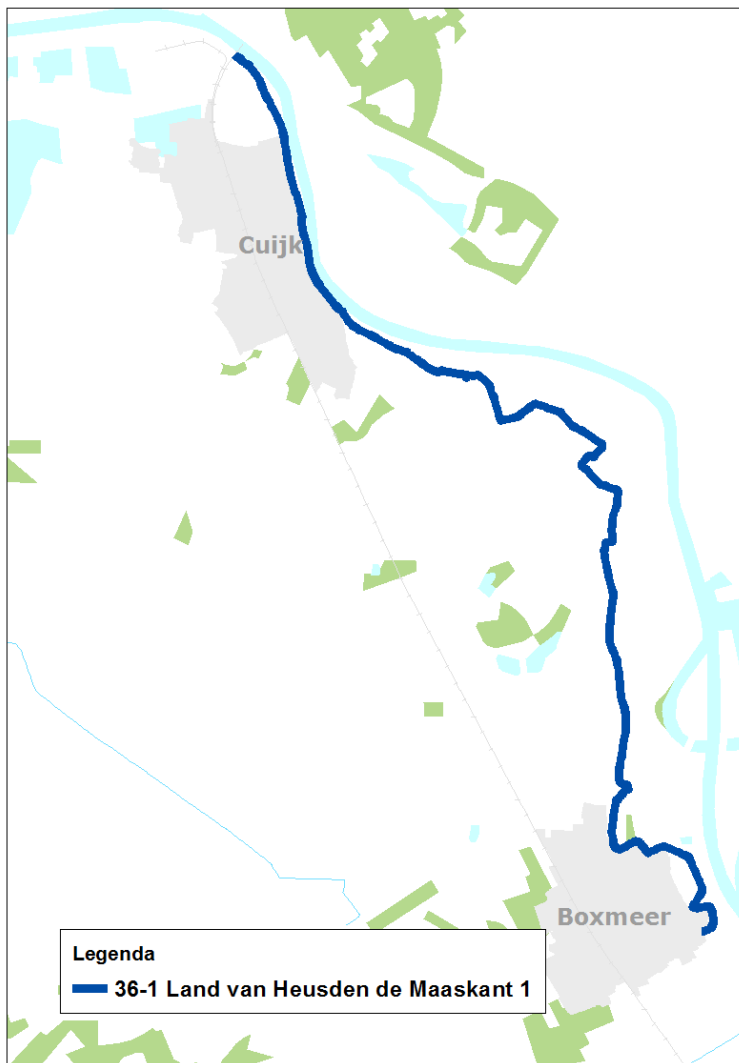
De rapportage van de beoordeling van normtraject 36-1 bestaat uit een hoofdrapport en een bijlage. De bijlage bestaat uit een aantal logboeken en achtergrondrapporten. Dit rapport is het hoofdrapport waarin per toetsspoor een beschrijving van het mechanisme, de bijbehorende uitgangspunten, de vakindeling, 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 36-1, Land van Heusden - de Maaskant 1, bestaat uit de dijken en de daarin gelegen kunstwerken aan de westzijde van de Maas tussen Boxmeer en Cuijk. In het zuiden wordt het traject begrensd door de aanwezigheid van hoge grond en in het noorden sluit het traject aan op dijktraject 36-2. Zowel de kernen van Boxmeer als Cuijk liggen tegen de waterkering aan, ook liggen er een drietal kleinere kernen, Sint Agatha, Oeffelt en Beugen, direct achter waterkering





*Figuur :1 Dijktraject 36-1*

Het dijktraject heeft een lengte van 17,7 km en bestaat voornamelijk uit groene dijken. De waterkeringen in het traject bestaan over het algemeen uit een grondlichaam met een grasbekleding. Vaak opgebouwd uit klei of zand met een kleidek maar uit het recent (2017) uitgevoerde grondonderzoek is gebleken dat enkele vakken gekenmerkt worden door een dijk die volledig uit zandig materiaal is opgebouwd.

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.

Wat verder kenmerkend is voor dijktraject 36-1 zijn de brede uiterwaarden, over grote strekkingen vaak meerdere honderden meters breed en soms zelfs meer dan 1 km. Ten zuiden van Cuijk wordt het aanwezige voorland smaller. Een gedeelte van het traject in Cuijk zelf heeft een damwandconstructie als waterkering.

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

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

Naam dijktraject	36-1, (Land van Heusden - de Maaskant 1)
Signaleringswaarde	1:10.000 per jaar
Ondergrens	1:3.000 per jaar
Lengte	17,7 km
X <sub>begin</sub>	194776
Y <sub>begin</sub>	406311
X <sub>eind</sub>	188281
Y <sub>eind</sub>	418489
Dijkpaal start	0
Dijkpaal einde	174

### 1.2.2 Dijkvak Parkbos

In deze beoordeling is een dubbele beoordeling uitgevoerd voor het dijkvak Parkbos van dijkpaal 145+0 tot 151+75. Ten behoeve van de financieringsregeling van het HWBP moet zowel de situatie voor 2012 als de huidige situatie met peildatum 2023 worden 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. In dit dijktraject zijn woningen en appartementen gebouwd nabij de waterkering. Bij de bouw hiervan is geanticipeerd op een toekomstige dijkversterking. Bij de realisatie van het project is door het waterschap besloten om vanuit doelmatigheidsoverwegingen te anticiperen op de toen nog toekomstige nieuwe normering. Op de onderdelen hoogte, stabiliteit en piping is hier een toekomst robuust ontwerp gerealiseerd.

Inmiddels is de nieuwe situatie beoordeeld op basis van het WBI 2017 en blijkt dat de in 2013 uitgevoerde verbeteringen voldoen aan de norm. In bijlage I is de veiligheidsanalyse voor het dijktraject Parkbos opgenomen.

### 1.2.3 Hydraulische belasting

Om de beoordeling uit te kunnen voeren, zijn hydraulische belastingen nodig. Deze verschillen per toetsspoor en bestaan uit combinaties van waterstanden en golfcondities. De wijze waarop de hydraulische belastingen worden bepaald, is per toetsspoor 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. Voor de bovenrivieren (Maas) in Brabant, waar ook dijktraject 36-1 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.

## 1.2.4 Veiligheidsnormen

Dijktraject 36-1 was bij de oude normering conform de overschrijdingskansbenadering genormeerd met een 1/1250 kans 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 36-1 een norm die is opgebouwd uit een signaleringswaarde met een faalkans 1/10.000 per jaar en een ondergrens van 1/3.000 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.

## 1.2.5 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 36-1 staat in Tabel 2. De toegepaste faalkansruimte is conform de faalkansruimte voor een traject bestaande uit dijken en wordt toegepast in de WBI-software (Ringtoets).

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: Faalkansruimteverdeling 36-1

Toetsspoor	Code	Faalkansruimte [-]
Hoogte kunstwerk of Grasbekleding erosie kruin en binnentalud*	HTKW GEKB	24%
Macrostabiliteit binnenwaarts	STBI	4%
Piping	STPH	24%

Grasbekleding erosie buitentalud	GEBU	5%
Overige bekledingen buitentalud:		
– Golfklappen op asfaltbekleding	AGK <sup>1</sup>	5%
– Stabiliteit steenzetting	ZST <sup>1</sup>	
Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk	BSKW	4%
Piping bij kunstwerk	PKW	2%
Sterkte en stabiliteit puntconstructies	STKWp	2%
Overige toetssporen		30%
<b>Totaal</b>		<b>100%</b>

### 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 (bijv. de 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 toetsrondes. 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.

## 1.2.6 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.

<sup>1</sup> De toetssporen AGK en ZST worden niet beschouwd in deze veiligheidsbeoordeling omdat asfalt en steenzetting niet aanwezig zijn in dit dijktraject. Ook de toetssporen havendammen (HAV) en Technische innovatie (INN) zijn niet beoordeeld omdat deze niet aanwezig zijn in dijktraject 36-1.

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.

## 1.2.7 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 toetspoor 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.

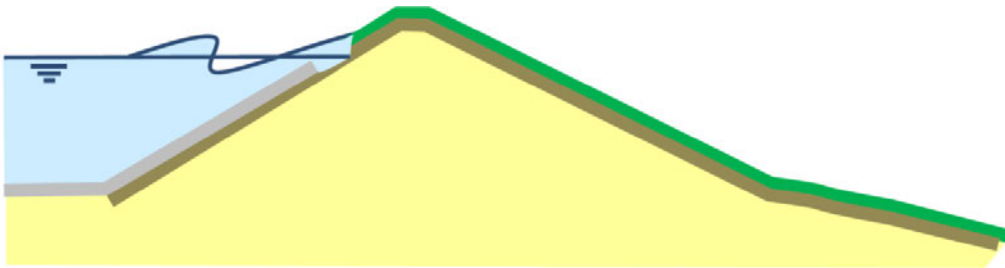
Tabel 4 geeft een overzicht van de categoriegrenzen voor het toetsoordeel van een dijkvak of kunstwerk.

Tabel 4: Categorieën toetsoordeel per vak per toetspoor

categorie	oordeel per vak per toetspoor
I <sub>v</sub>	voldoet ruim aan de signaleringswaarde
II <sub>v</sub>	voldoet aan de signaleringswaarde
III <sub>v</sub>	voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde
IV <sub>v</sub>	voldoet mogelijk aan de ondergrens en/of aan de signaleringswaarde
V <sub>v</sub>	voldoet niet aan de ondergrens
VI <sub>v</sub>	voldoet ruim niet aan de ondergrens
VII <sub>v</sub>	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 36-1 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 17.2.1. Ringtoets maakt hiervoor gebruik van de door Rijkswaterstaat aangeleverde Hydraulic Region Database [WBI2017\_Bovenmaas\_36-1\_v03].
- Voor het bepalen van de hydraulische belastingen is tevens gebruik gemaakt van Hydra-NL 2.3.5

## 2.1.1 Uitgangspunten GEBU

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

- De dikte van de kleilaag is bepaald aan de hand van 20 handboringen. Hierbij is een maximum van 0.5 m klei gehanteerd conform de schematiseringshandleiding;
- Uit de handboringen blijkt dat bij vijf vakken de grasmat direct op zand is gelegen. Deze profielen kunnen niet worden meegenomen in de gedetailleerde toets en zijn met een toets op maat beoordeeld.

## 2.1.2 Trajectbeschrijving GEBU

De bekleding op het buitentalud bestaat meestal uit een kleilaag met daarop een grasbekleding. Er zijn ook dijkvakken waarbij het dijklichaam uit zand bestaat zonder een afdekkende kleilaag. Over het gehele dijktraject is een grasbekleding aanwezig, uitgezonderd verharding van bijvoorbeeld op- en afritten en het deel in Cuijk waar de waterkering bestaat uit een damwandconstructie.

De taluds waarop de grasbekleding zich bevindt variëren doorgaans tussen de 1:2 en 1:3. Het buitentalud bevindt zich hoofdzakelijk op de oostzijde, 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

De vakindeling en de representatieve profielen zijn conform Schematiseringshandleiding Hoogte (Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving, 2016) geschematiseerd. De 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'

Op basis van deze criteria is het traject opgeknipt in 28 dijkvakken. Er dient opgemerkt te worden dat de taludhelling en significante golfhoogtes maatgevend zijn bij de schematisatie van de representatieve profielen.

Binnen het traject is er geen/weinig variatie in de aanwezigheid grasbekleding en zodekwaliteit. Voor nadere informatie over de vakindeling en de representatieve profielen wordt verwezen naar het logboek 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 36-1 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 17.2.1 is de gedetailleerde toets uitgevoerd.

Uit de handboringen blijkt dat binnen vijf profielen de grasmat direct op zand is gelegen. Deze profielen kunnen niet worden meegenomen in de gedetailleerde toets en zijn daarom in een toets op maat beoordeeld. Omdat niet aan de toepassingscriteria wordt voldaan in de gedetailleerde toets, namelijk de aanwezigheid van een kleilaag onder de graszode, is Helpdesk Water benaderd en heeft een overleg met experts plaatsgevonden. In dit overleg is geconstateerd dat op de basis van de beschikbare kennis moeilijk uitspraken kunnen worden gedaan over de erosiebestendigheid van graszode op het buitentalud van een zanddijk. Het eerste idee om deze kennisleemte op te vullen is een onderzoek opzetten waarin het beproeven (golfklapsimulator) van bestaande dijken met een graszode op een zandondergrond een centrale rol in neemt. Hiervoor moet eerst een inventarisatie moeten worden gemaakt waar deze dijken voorkomen in Nederland en met welke belasting situaties deze dijken te maken hebben. Gezien het gegeven dat deze inventarisatie en het opzetten van het onderzoekstraject nog te zetten stappen zijn, zal dit niet op korte termijn tot antwoorden leiden.

De redeneerlijn die hieruit volgt voor de beoordeling van dijktraject 36-1 is dat op basis van de huidige kennis niet kan worden uitgesloten dat een graszode op een zandondergrond zal standhouden. We beoordelen de vakken waar deze situatie voorkomt daarom als categorie Vv, voldoet niet aan de ondergrens. Voor nadere informatie over de toets op maat wordt verwezen naar het logboek voor GEBU in bijlage B.

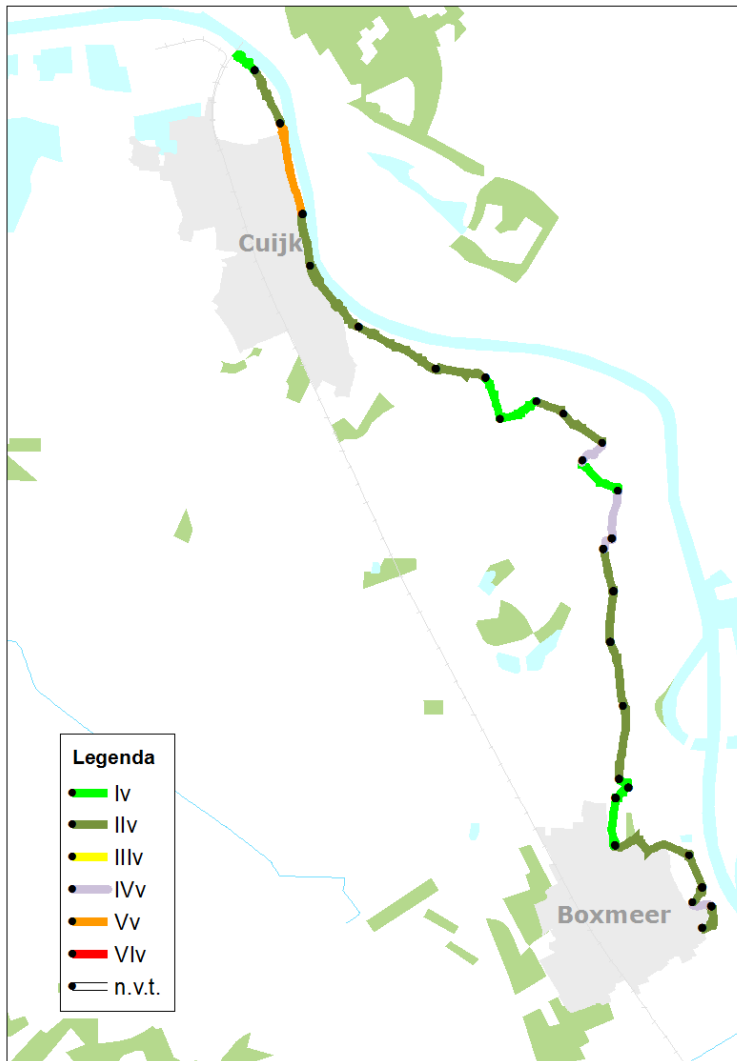
In Tabel 5 is te zien dat de vakken in traject 36-1 voor het mechanisme GEBU de oordelen tussen Iv (*voldoet ruim aan de signaleringswaarde*) en Vv (*voldoet niet aan de ondergrens en/of signaleringswaarde*) hebben.



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)

Vaknaam	Gedetailleerde toets	Toets op maat	Toetsoordeel
36-1_vak01	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak02	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak03	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak04	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak05	NGO	V <sub>v</sub>	V <sub>v</sub>
36-1_vak06	I <sub>v</sub>		I <sub>v</sub>
36-1_vak07	I <sub>v</sub>		I <sub>v</sub>
36-1_vak08	I <sub>v</sub>		I <sub>v</sub>
36-1_vak09	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak10	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak11	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak12	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak13	NGO	V <sub>v</sub>	V <sub>v</sub>
36-1_vak14	NGO	V <sub>v</sub>	V <sub>v</sub>
36-1_vak15	NGO	V <sub>v</sub>	V <sub>v</sub>
36-1_vak16	I <sub>v</sub>		I <sub>v</sub>
36-1_vak17	NGO	V <sub>v</sub>	V <sub>v</sub>
36-1_vak18	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak19	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak20	I <sub>v</sub>		I <sub>v</sub>
36-1_vak21	I <sub>v</sub>		I <sub>v</sub>
36-1_vak22	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak23	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak24	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak25	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak26	NGO		V <sub>v</sub>
36-1_vak27	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak28	I <sub>v</sub>		I <sub>v</sub>
<b>Totaal:</b>			<b>Vt</b>

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 36-1Vt (*Voldoet niet aan ondergrens*).



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 gedetailleerde toetsing van GEBU is uitgegaan van een conservatieve minimumwaarde voor het zandgehalte van de dijksklei. Doordat er met een ongunstige aanname in de gedetailleerde toetsing 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 de gedetailleerde toets van GEBU stabiel is en dat nadere optimalisatie van de parameters niet zal leiden tot een ander (beter) veiligheidsoordeel.

Voor GEBU geldt echter wel dat de vakken waarvoor een toets op maat is uitgevoerd juist tot slechtere resultaten leiden. Zoals eerder toegelicht zijn de methodiek voor toets op maat en de aannames afgestemd met Helpdesk Water. Er is niet afgeweken van de voorgestelde methodiek voor

toets op maat. Op basis van de huidige beschikbare kennis wordt daarom geacht dat de resultaten voor toetsen op maat stabiel zijn.

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

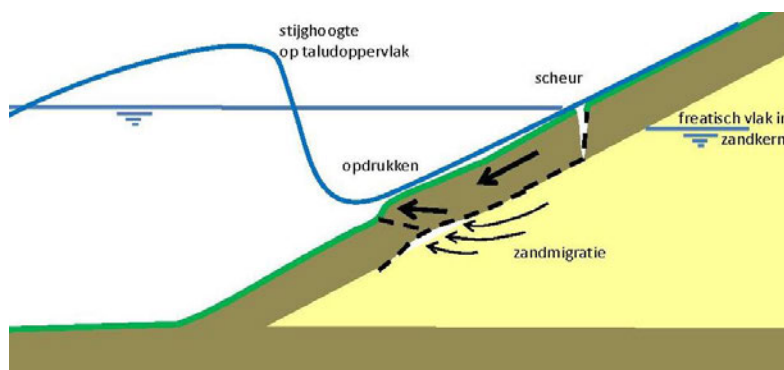
### 2.2.2 Duiding

Voor de vakken met een kleibekleding onder de graszode was voorafgaand aan de beoordeling 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.

Voor een aantal vakken is geconstateerd dat een kleibekleding onder de graszode ontbreekt. Zoals reeds in 2.2 is aangegeven, is voor de situatie waarbij sprake is van een graszode op een zandige ondergrond onvoldoende kennis aanwezig om hier een goede uitspraak over te doen, behalve dat aangenomen kan worden dat de erosiebestendigheid kleiner is zonder deze kleilaag. Hierdoor is het niet mogelijk om te veronderstellen dat deze specifieke situatie van een graszode op een zandige dijk ook zal voldoen aan de norm en daarmee wordt voor deze vakken de keus gemaakt om een categorie Vv toe te kennen waarmee ze ruim niet voldoen aan de ondergrens.

## 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 overstrooming 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 36-1 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 17.2.1. Ringtoets maakt hiervoor gebruik van de door Rijkswaterstaat aangeleverde Hydraulic Region Database [WBI2017\_Bovenmaas\_36-1\_v03];
- Voor de toets op maat is op advies van Helpdesk Water gebruik gemaakt van Steentoets v17.1.1.1. Voor nadere informatie over de toets op maat wordt verwezen naar het logboek voor GABU in bijlage C.

### 3.1.1 Uitgangspunten GABU

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

- De dikte van de kleilaag is bepaald aan de hand van 20 handboringen;

- Uit de handboringen blijkt dat binnen 8 profielen de grasmat direct op zand is gelegen. Deze profielen kunnen niet worden meegenomen in de gedetailleerde toets en zijn met een toets op maat beoordeeld.

### 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 vakindeling en de representatieve profielen zijn conform Schematiseringshandleiding Grasbekleding (Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving, 2016) geschematiseerd. De vakken zijn ingedeeld op basis van de vier knipcriteria van de Schematiseringshandleiding:

- Ligging kleibekleding op zandkern of zandscheg
- Dikte kleibekleding (en dus ook de afwezigheid van kleibekleding)
- Significante golfhoogte
- Taludhelling

Op basis van de boven benoemde knipcriteria is het traject opgeknipt in 25 dijkvakken.

Voor nadere informatie over de vakindeling en de representatieve profielen wordt verwezen naar het logboek 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 36-1 voldoen niet aan de criteria van de eenvoudige toets. Om tot een veiligheidsoordeel te komen is verder getoetst met de gedetailleerde toets per vak.

Uit de handboringen blijkt dat binnen 8 vakken de grasmat direct op zand is gelegen. Deze profielen kunnen niet worden meegenomen in de gedetailleerde toets. Omdat niet aan de toepassingscriteria wordt voldaan in de gedetailleerde toets, namelijk de aanwezigheid van een kleilaag onder de graszode, is Helpdesk Water benaderd en heeft een overleg met experts plaatsgevonden. Vanuit Helpdesk Water is geopperd gebruik te maken van de afschuivingsmethodiek zoals deze gehanteerd wordt bij steenzettingen op zand, waarbij de grasmat geschematiseerd kan worden als een

steenzetting van 10cm dik met een gewicht van 15 km/m<sup>3</sup>. Voor nadere informatie over de toets op maat wordt verwezen naar het logboek voor GABU in bijlage C.

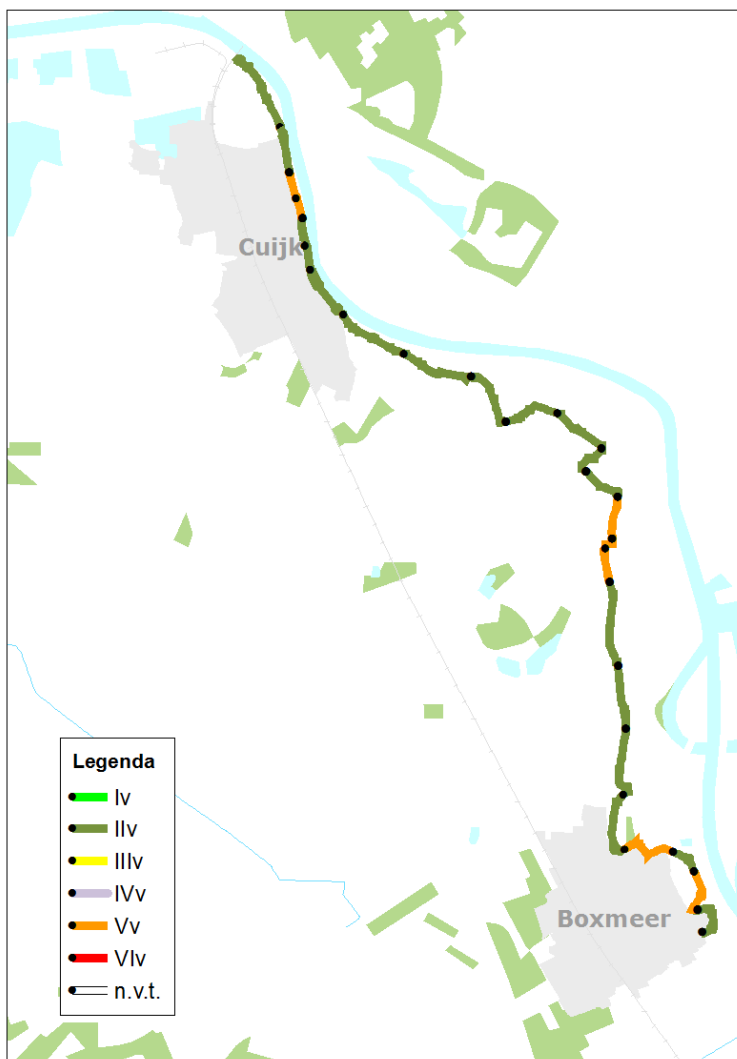
Met behulp van Ringtoets versie 17.2.1 en Steentoets v17.1.1.1 zijn de toetsoordelen per vak berekend. In

Tabel 6 is te zien dat de vakken in traject 36-1 voor het mechanisme GABU de toetsoordelen II<sub>v</sub> (voldoet aan de signaleringswaarde) en V<sub>v</sub> (voldoet niet aan ondergrens) 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)

Vaknaam	Gedetailleerde toets	Toets op maat	Toetsoordeel
36-1_vak01	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak02	NGO	V <sub>v</sub>	V <sub>v</sub>
36-1_vak03	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak04	NGO	V <sub>v</sub>	V <sub>v</sub>
36-1_vak05	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak06	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak07	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak08	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak09	NGO	V <sub>v</sub>	V <sub>v</sub>
36-1_vak10	NGO	V <sub>v</sub>	V <sub>v</sub>
36-1_vak11	NGO	V <sub>v</sub>	V <sub>v</sub>
36-1_vak12	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak13	NGO		II <sub>v</sub>
36-1_vak14	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak15	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak16	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak17	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak18	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak19	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak20	NVT	NVT	NVT
36-1_vak21	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak22	NGO	V <sub>v</sub>	V <sub>v</sub>
36-1_vak23	NGO	V <sub>v</sub>	V <sub>v</sub>
36-1_vak24	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
36-1_vak25	II <sub>v</sub>		II <sub>v</sub>
Totaal:			V <sub>t</sub>

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 36-1 Vt (*voldoet niet aan de ondergrens*).



Figuur 5: De toetsoordelen 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 gedetailleerde toets van GABU zijn weinig aannames gedaan. Voor de bepaling van de kleidikte zijn 20 boringen in het buitentalud uitgevoerd waardoor de kleilaagdikte nauwkeurig bepaald kan worden. Voor de taludhelling is gebruik gemaakt van beheerregisterprofielen en AHN2 profielen. Voor GABU geldt echter wel dat de vakken waarvoor een toets op maat is uitgevoerd juist tot slechtere resultaten leiden. Zoals eerder toegelicht zijn de methodiek voor toets op maat en de aannames afgestemd met Helpdesk Water. Er is niet afgeweken van de voorgestelde methodiek voor toets op maat. Op basis van de huidige beschikbare kennis wordt daarom geacht dat de resultaten voor toetsen op maat stabiel zijn.

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 veiligheidsoordeel.

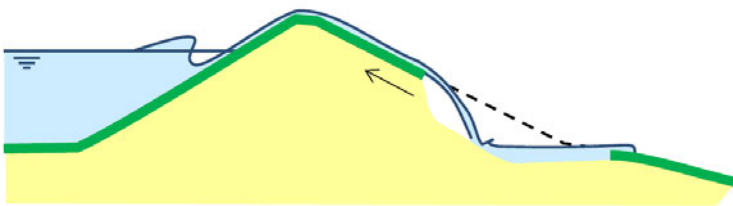
### 3.2.2 Duiding

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 van een deel van het dijktraject voldoen aan deze verwachting. Een zevental dijkvakken voldoet echter niet aan deze verwachting. De oorzaak hiervan is gelegen in het ontbreken van een kleilaag op het buitentalud, de graszode is direct gelegen op zand. Via een toets op maat, aangereikt via de helpdesk, is hier tot een oordeel gekomen waarbij 7 van deze 8 vakken worden afgekeurd. Dit is voornamelijk te wijten aan de combinatie van steile buitentaluds en hoge golfhoogten. Het vak dat wel voldoet heeft zowel een relatief lage significante golfhoogte als een redelijk flauw talud.



## 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 36-1 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 17.2.1.
- De hydraulische randvoorwaarden zijn bepaald met behulp van Ringtoets versie 17.2.1. Ringtoets maakt hiervoor gebruik van de door Rijkswaterstaat aangeleverde Hydraulic Region Database [WBI2017\_Bovenmaas\_36-1\_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 veldmetingen metingen die uitgevoerd zijn door het waterschap en AHN2;
- De graskwaliteit is in de gedetailleerde toets bepaald op basis van inspectieresultaten en analyses die de beheerder (waterschap) eerder heeft 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 36-1 is voor alle vakken een gemiddelde overslagdebiet van 225 l/m/s met een afwijking van 250 l/m/s (lognormaal) gehanteerd. Paragraaf 4.2.1 beschrijft welke consequenties de graskwaliteit en kritieke overslagdebiet heeft op het veiligheidsoordeel voor GEKB;

### 4.1.2 Trajectbeschrijving GEKB

Het dijktraject 36-1 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.

Op delen van het traject is een puinlaag aangebracht op de kruin van 5-10cm dikte om de bereikbaarheid van de waterkering tijdens natte omstandigheden en hoogwater mogelijk te maken zonder grote schade te veroorzaken. Deze puinlaag is aangebracht op de kleibekleding van de kruin en afgedekt door een kleilaag met graszode en kan hiermee beschouwd worden als een gesloten constructie.

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 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 dijkenmerken van belang:

- De oriëntatie van de dijknormaal;
- Het hoogteprofiel aan de buitenzijde (tussen de teen en de kruin) van de dijk;
- De taludhelling;
- Zodekwaliteit en daarbij horende ruwheden.

Op basis van deze criteria is het traject opgeknipt in 30 dijkvakken. Er dient opgemerkt te worden dat de laagste kruin en de oriëntatie maatgevende criteria zijn bij de schematisatie van de representatieve profielen. Binnen het traject is er geen/weinig variatie in de zodekwaliteit en de taludhelling. Voor nadere informatie over de vakindelingen en de representatieve profielen wordt verwezen naar het logboek voor GEKB in bijlage B.

## 4.2 Veiligheidsoordeel GEKB

Voor GEKB is geen eenvoudige toets beschikbaar. 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

### 4.2.1 Toepassingscriteria gedetailleerde toets 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.  $H_m0 \leq 3$  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 36-1 geldt:

1. Zoals eerder toegelicht geldt voor traject 36-1 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. Het grootste deel van normvak 36-1 voldoet niet aan het criterium van taludhelling flauwer dan 1V:4H. Op het binnentalud zijn 20 handboringen uitgevoerd om een gedetailleerdere indruk te krijgen van de deklaagdikte op het binnentalud. Uit deze handboringen blijkt dat er voldoende kleilaag aanwezig is op 21 van de 28 vakken; de gedetailleerde toets kan zonder probleem worden uitgevoerd binnen deze vakken. Voor de 7 vakken waar er <0.4m klei aanwezig is op het binnentalud volgt een toets op maat.

## 4.2.2 Toets op maat GEKB

Helpdesk Water heeft geadviseerd om voor de toets op maat sterkteparameters te bepalen conform het rapport *Onderbouwing kansverdelingen kritisch overslagdebiet ten behoeve van het OI2014v4* (Hoven, 2017). Deze parameterbepaling wijkt af van de Schematiseringshandleiding Grasbekleding. Naar aanleiding van de vraag op Helpdesk Water heeft DGRW en RWS-WVL op 29 januari 2018 een *Expertsessie Bekledingen* georganiseerd. Tijdens de sessie is bevestigd dat de wijze van parameterbepaling zoals voorgesteld door Helpdesk Water de meest geschikte methodiek is voor de keringen in traject 36-1.

## 4.2.3 Veiligheidsoordeel GEKB

Met behulp van Ringtoets versie 17.2.1 zijn de volgende toetsoordelen per vak berekend.

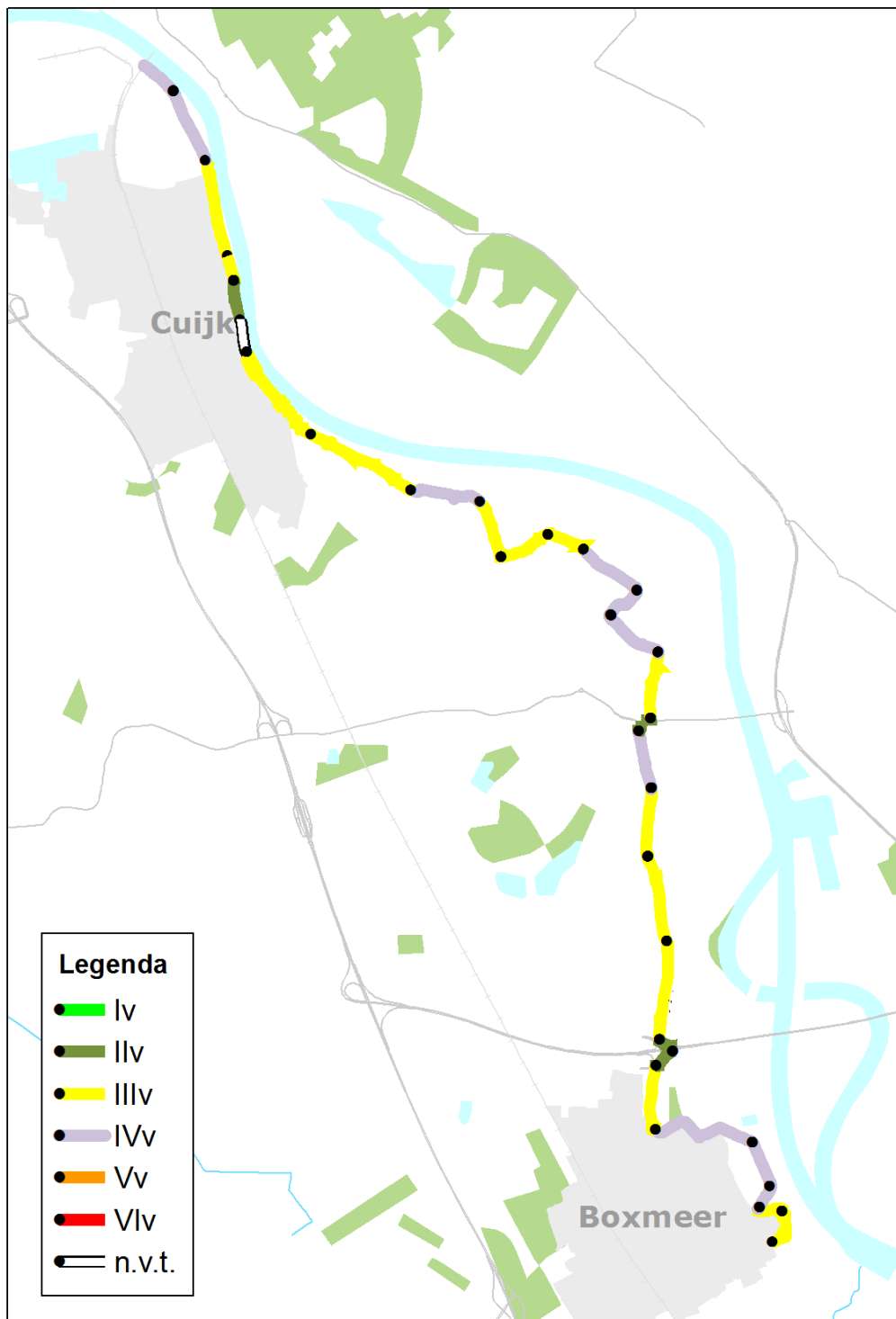
Tabel 7: De toetsoordelen per vak voor het mechanisme GEKB. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport *Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)*

Vaknaam	Gedetailleerde toets	Toets op maat	Toetsoordeel
36-1_vak01	4.76E-05		IIIv
36-1_vak02	3.29E-05		IIIv
36-1_vak03	9.44E-05		IVv
36-1_vak04	9.76E-05		IVv
36-1_vak05		1.25E-04	IVv
36-1_vak06	3.70E-05		IIIv
36-1_vak07	4.71E-06		IV
36-1_vak08	3.05E-06		IV
36-1_vak09	3.81E-05		IIIv
36-1_vak10	4.63E-05		IIIv
36-1_vak11	4.53E-05		IIIv
36-1_vak12	6.10E-05		IVv
36-1_vak13	1.58E-05		IIv
36-1_vak14	1.64E-05		IIv
36-1_vak15	4.29E-05		IIIv
36-1_vak16		1.20E-04	IVv
36-1_vak17		7.07E-05	IVv
36-1_vak18		9.30E-05	IVv

36-1_vak19	2.49E-05		IIIv
36-1_vak20	3.11E-05		IIIv
36-1_vak21	4.73E-05		IIIv
36-1_vak22		1.14E-04	IVv
36-1_vak23	3.89E-05		IIIv
36-1_vak24	4.35E-05		IIIv
36-1_vak25	-		-
36-1_vak26	1.21E-06		IIv
36-1_vak27	3.67E-05		IIIv
36-1_vak28	2.97E-05		IIIv
36-1_vak29		8.48E-05	IVv
36-1_vak30		6.52E-05	IVv
Totaal:		2,70E-04	IVt

In Tabel 7 is te zien dat de vakken in traject 36-1 voor het mechanisme GEKB toetsoordelen hebben tussen I<sub>v</sub> (*voldeet ruim aan de signaleringswaarde*) en IV<sub>v</sub> (*voldeet mogelijk aan de ondergrens en/of signaleringswaarde*). 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 36-1 IV<sub>t</sub> (*voldeet mogelijk aan de ondergrens en/of aan de signaleringswaarde*) met een faalkans per traject van 2,70E-04/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)

## 4.2.4 Gevoeligheid resultaten GEKB

Voor de beoordeling van GEKB is een aanname gemaakt voor de graskwaliteit. Deze paragraaf ligt toe waarom het aannemelijk is om te rekenen met deze 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 m<sup>2</sup> van 0,15\*0,15 m en niet meer dan 5 beschadigingen per 25m<sup>2</sup>.
- 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 m<sup>2</sup> groter dan 0,15\*0,15 m en niet meer dan 5 beschadigingen per 25 m<sup>2</sup>.
- Fragmentarische graszode: plantafstand meer dan 25% van oppervlak meer dan 0,25 m. Veelal losstaande planten die zeker geen gesloten grasmat vormen.

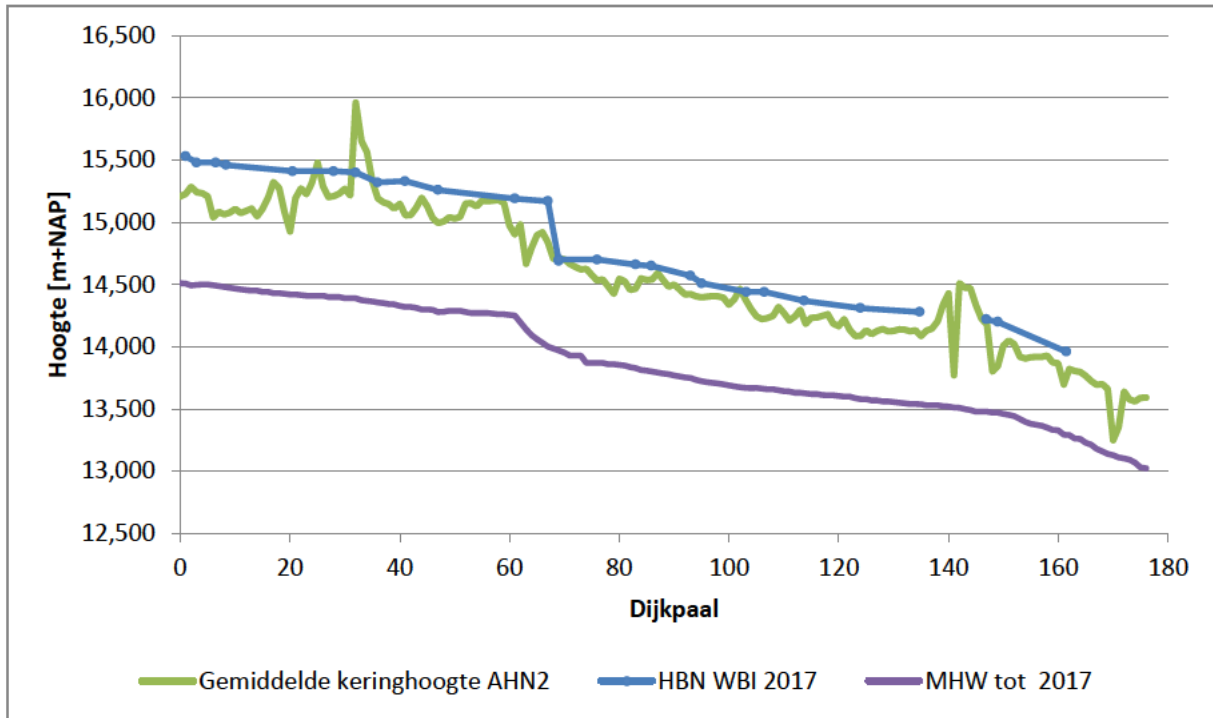
Per dijkvak, weliswaar verschillend van de dijkvakbepaling binnen deze beoordelingsronde, is de zodekwaliteit binnen- en buitendijks bestudeerd. Op basis hiervan en de inspectieresultaten kan worden vastgesteld dat het traject een gesloten graszode heeft en dat middels beheer en onderhoud dit ook te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

Verder zijn de oriëntatie van de dijknormaal, hoogteprofiel aan de buitenzijde (tussen de teen en de kruin) van de dijk en de taludhelling allemaal nauwkeurig bepaald. Op basis hiervan kan daarom geconcludeerd worden dat het toetsoordeel voor GABU stabiel is en dat nadere optimalisatie van de parameters niet zal leiden tot een ander veiligheidsoordeel.

## 4.2.5 Duiding

Uit deze veiligheidsbeoordeling voor dijktraject 36-1 komt als resultaat dat het dijktraject mogelijk voldoet aan de ondergrens en/of aan de signaleringswaarde. 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 8 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 grote lengtes van het traject lager is.

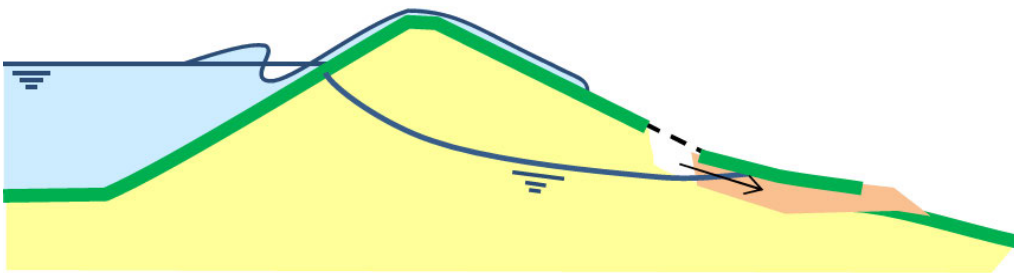


Figuur 8: Vergelijking van kruinhoogte, HBN en MHW



## 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 leiden 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 36-1 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 17.2.1.
- De hydraulische randvoorwaarden zijn bepaald met behulp van Ringtoets versie 17.2.1. Ringtoets maakt hiervoor gebruik van de door Rijkswaterstaat aangeleverde Hydraulic Region Database [WBI2017\_Bovenmaas\_36-1\_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 het binnentalud zijn 20 handboringen uitgevoerd om een gedetailleerdere indruk te krijgen van de kleilaagdikte op het binnentalud. Dit resulteert in enkele vakken waar geen kleilaag aanwezig is op het binnentalud; deze vakken worden geschematiseerd als zanddijk, waar de overige vakken als zanddijken met kleibekleding worden geschematiseerd;
- Door normstijging is de maatgevende waterstand hoog ten opzichte van de huidige hoogte van de kruin. De hoge waterstand gecombineerd met de lange duur van de hoogwatergolf resulteert in een schematisatie van de kering als vrijwel volledig verzadigd. De ligging van het freatisch vlak wordt aangenomen op een halve meter onder het toetspeil.

### 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 vier 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 36-1 geen drainages zijn geplaatst. De vakindeling wordt daarom met name bepaald door de taludhelling, het overslagdebiet en dijktype en kleilaagdikte. Op basis van deze criteria is het traject opgeknipt in 19 dijkvakken. Voor nadere informatie over de vakindelingen en de representatieve profielen wordt verwezen naar het logboek voor GABI in bijlage E.

## 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

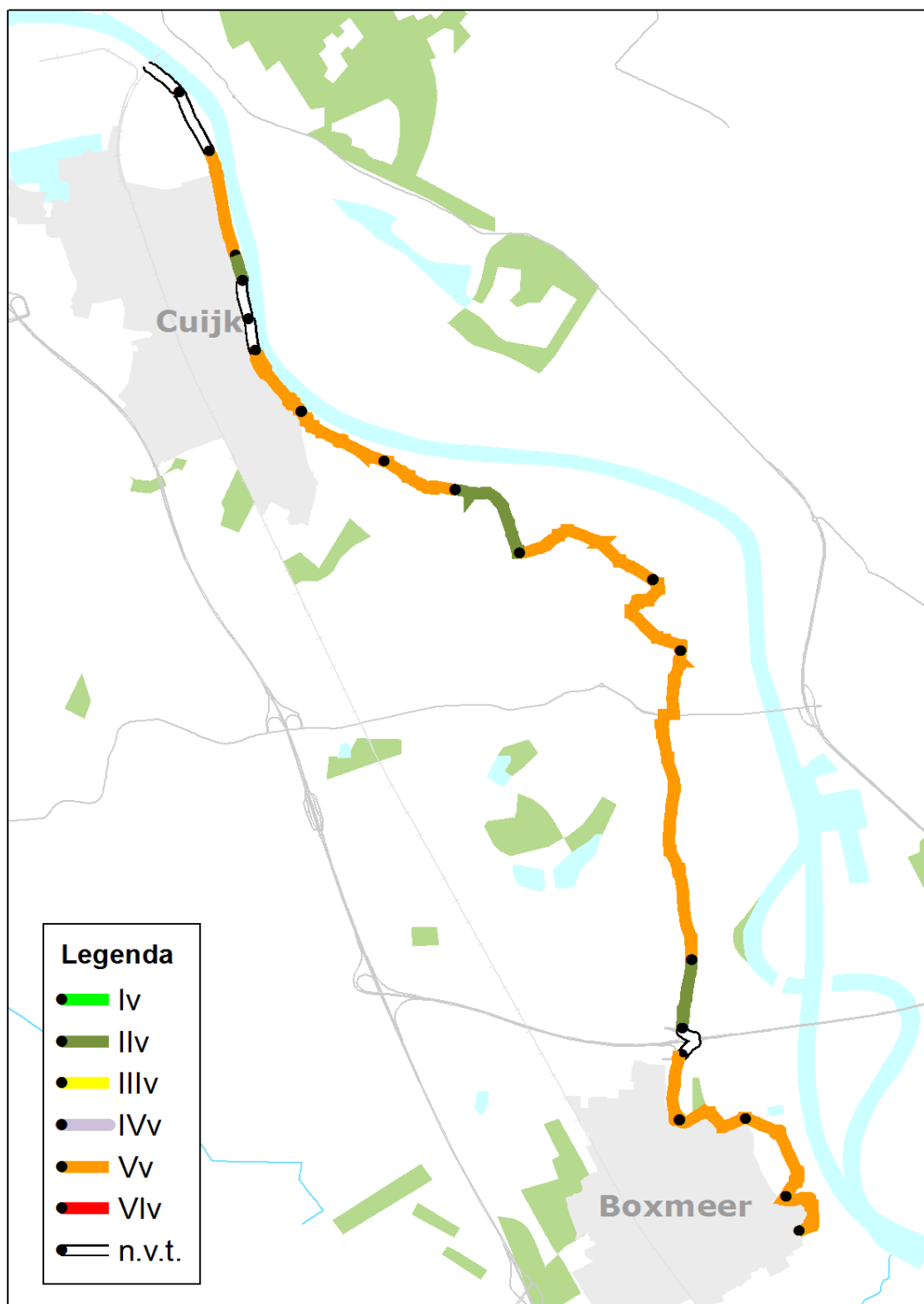
De vakken binnen traject 36-1 voldoen niet aan de criteria van de eenvoudige toets. Om tot een veiligheidsoordeel te komen is verder getoetst met de gedetailleerde toets per vak. Met behulp van Ringtoets versie 17.2.1 zijn de volgende toetsoordelen per vak berekend. In Tabel 8 is te zien dat de vakken in traject 36-1 voor het mechanisme GABI toetsoordelen hebben tussen Iiv (*voldoet aan 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 36-1 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)

Vaknaam	Toetsoordeel per vak
36-1_vak01	Vv
36-1_vak02	NVT
36-1_vak03	Vv
36-1_vak04	Vv
36-1_vak05	Vv
36-1_vak06	NVT
36-1_vak07	Iiv
36-1_vak08	Vv
36-1_vak09	Vv
36-1_vak10	Vv
36-1_vak11	Iiv
36-1_vak12	Vv
36-1_vak13	Vv
36-1_vak14	Vv
36-1_vak15	NVT
36-1_vak16	NVT
36-1_vak17	Iiv
36-1_vak18	NVT
36-1_vak19	Vv
36-1_vak20	NVT
Totaal:	Vt

Let bij de resultaten op dat GABI een mechanisme betreft waarvoor geen probabilistische berekening of semi-probabilistische 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

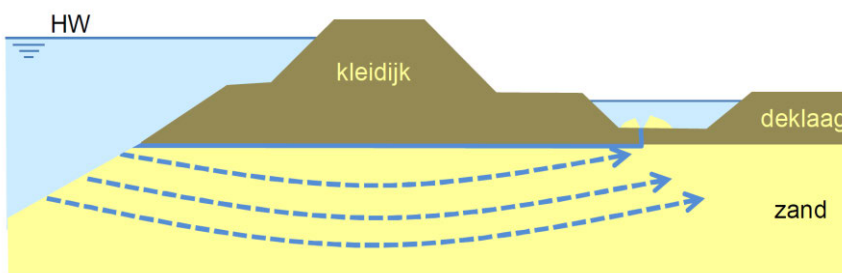
Zoals eerder toegelicht is door de hoge waterstand en de lange duur van de hoogwatergolf aannemelijk dat de waterkering nagenoeg volledig verzadigd is. Door de zandige kern is gekozen om te rekenen met een freatisch vlak dat een halve meter onder het toetspeil ligt. Het is eventueel mogelijk om een nog conservatievere aanname te doen door het freatisch vlak gelijk te stellen aan het toetspeil. Doordat het traject 36-1 voor GABI met een gunstige (en realistische) aanname al niet aan de ondergrens voldoet, zal eventuele conservatievere aanname van het freatisch vlak niet leiden tot een ander 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 4.2.1.

## 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). Dit faalmechanisme bestaat uit drie deelfaalmechanismes: opbarsten, heave en terugschrijdende erosie.



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 36-1 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 17.2.1. D-Soil Model maakt hiervoor gebruik van de door Rijkswaterstaat aangeleverd ondergronddatabase [WTISOS2017\_materiaal\_1sep2016.soil]. De ondergronddatabase 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 17.2.1;

- De hydraulische randvoorwaarden zijn bepaald met behulp van Ringtoets versie 17.2.1. Ringtoets maakt hiervoor gebruik van de door Rijkswaterstaat aangeleverde Hydraulic Region Database [WBI2017\_Bovenmaas\_36-1\_v03];
- 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, aangevuld met profielen die door het waterschap zijn gemeten;
- 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. Daarnaast is ook de binnentoeen als uittredepunt getoetst en waar van toepassing de insteek van de berm;
- 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. Ter verduidelijking: dit zijn geen rekenwaarde in Ringtoets wordt nog een rekenwaarde gemaakt met de bovengenoemde waarde als verwachtingswaarde en een variantie.
- 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 (buitentoeen tot uittredepunt). Dit is gedaan conform bijlage E van Schematiseringshandleiding Piping. Voor meer achtergrondgegevens over de uitgangspunten wordt verwezen naar Bijlage F – Logboek Piping.

### 6.1.2 Trajectbeschrijving STPH

Normtraject 36-1 is het meest zuidelijke en oostelijk dijktraject van 36. Uit ervaring van blijkt dat dit een vrij zandig gebied is. Tijdens hoogwaters in het verleden (1993 en 1995, ongeveer een halve meter onder MHW van destijds) zijn in het gebied van normtraject 36-1 geen wellen gesignaleerd. Wel heeft het traject veel last van kwel.

### 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:

- Normtraject
- Segmentindeling lokale ondergrondschematisatie (incl. vakken ongevoelig voor piping)
- Aanwezigheid afsluitende kleilaag voorland
- Aanwezigheid sloten & meren
- Geometrisch dijkprofiel
- Hoogte voor- en achterland
- Kunstwerken

Op basis van deze criteria is het traject opgeknipt in 32 dijkvakken. Per vak is een minst gunstig dwarsprofiel voor het mechanisme piping gekozen als representatief dwarsprofiel. Voor nadere informatie over de vakindeling wordt verwezen naar het logboek voor STPH in bijlage F.

## 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 36-1 is de beoordeling uitgevoerd tot en met de gedetailleerde toets per vak.

In paragraaf 6.2.1 worden de beoordelingsresultaten voor STPH op vak- en trajectniveau toegelicht. In paragraaf 6.2.2 wordt de gevoeligheid van de resultaten toegelicht.



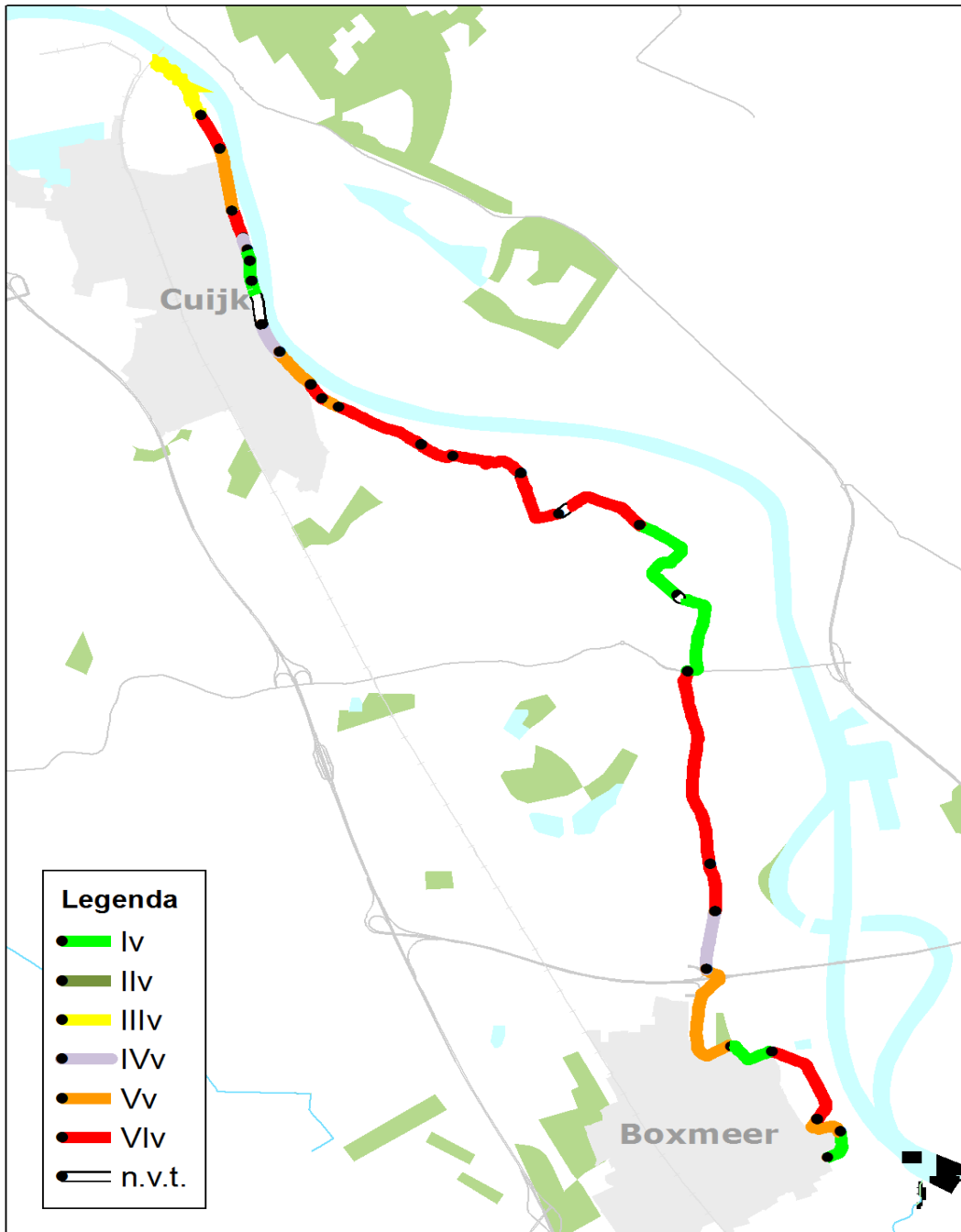
## 6.2.1 Beoordeling STPH

In paragraaf 7.1 van bijlage III van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 is de eenvoudige toets voor STPH beschreven. Voor de eenvoudige toets geldt dat de beschikbare boringen en sonderingen aantonen aan dat traject 36-1 zeer zandig is. De eenvoudige toets geeft aan dat piping niet optreedt bij een zanddijk op een goed doorlatende ondergrond, waarbij direct onder de zool van de zanddijk geen slecht doorlatende (klei dan wel veen) lagen aanwezig zijn. Op basis van boringen en sonderingen is geconcludeerd dat 4 vakken in traject 36-1 aan dit criterium voldoen. Deze vakken zijn met de eenvoudige toets goedgekeurd. De overige vakken voldoen niet aan de criteria van de eenvoudige toets (zie Bijlage F voor nadere informatie hierover). Om tot een veiligheidsoordeel te komen is verder getoetst met de gedetailleerde toets per vak. Met behulp van Ringtoets versie 17.2.1 zijn de volgende toetsoordelen per vak berekend. In Tabel 9 is te zien dat de vakken in traject 36-1 voor het mechanisme STPH toetsoordelen hebben tussen Iv (*Voldoet ruim aan de signaleringwaarde*) 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 STPH is het toetsoordeel voor traject 36-1 categorie VI<sub>1</sub> met een faalkans per traject van  $3,04 \cdot 10^{-1}$ /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	Gedetailleerde toets	Toetsoordeel per vak
Vak01	NVT	Iv
Vak02	1.96E-03	Vv
Vak03	1.23E-02	Vlv
Vak04	NVT	Iv
Vak05	7.81E-03	Vv
Vak06	1.98E-04	IVv
Vak07	1.16E-02	Vlv
Vak08	5.26E-02	Vlv
Vak09	NVT	Iv
Vak10	Kunstwerk	NVT
Vak11	NVT	Iv
Vak12	1.48E-03	Vv
Vak13	Kunstwerk	NVT
Vak14	1.69E-02	Vlv
Vak15	Kunstwerk	NVT
Vak16	1.54E-02	Vlv
Vak17	2.99E-03	Vv
Vak18	6.33E-03	Vv
Vak19	8.62E-03	Vv
Vak20	1.49E-02	Vlv

Vak21	2.65E-03	Vv
Vak22	2.77E-05	IVv
Vak23	Kunstwerk	NVT
Vak24	2.97E-09	Iv
Vak25	7.68E-09	Iv
Vak26	4.40E-11	Iv
Vak27	3.60E-09	Iv
Vak28	7.91E-09	Iv
Vak29	5.00E-02	VIv
Vak30	4.00E-04	Vv
Vak31	3.57E-02	VIv
Vak32	1.07E-06	IIIv
Totaal:	2.18E-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.

### - **d<sub>70</sub>**

Voor de d<sub>70</sub> 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 D70's van de lokale grondonderzoeken gemiddeld fijner zijn dan de waarden in de WBI-SOS. Het totaal aantal proeven (14) is echter te klein om deze proeven direct te linken aan de verschillende grondsoorten zoals gedefinieerd in het SOS. Omdat de meegeleverde D70-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 d70-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 toetsoordeel; in de meeste situaties is het opbarsten een gegeven als gevolg van de minimale deklaagdikte. In een aantal gevallen is opbarsten wel maatgevend, maar het gaat hier om scenario's waarbij de faalkans al relatief laag is en deze hebben maar een kleine bijdrage aan het uiteindelijke toetsoordeel. 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**

Gezien de dunne deklaagen die uit de verschillende boringen naar voren komen is er geen EM-onderzoek uitgevoerd voor traject 36-1. Hierdoor is voor een zeer beperkt aantal vakken gerekend met een deklaag. Ook loopt in een aantal gevallen de deklaag niet door naar de dijk, dus er is wel een deklaag aanwezig in het voorland aan de rivierzijde, maar niet dicht bij de dijk. Om in te schatten of een deklaag voor significant betere resultaten zou zorgen is een fictief voorland geschematiseerd van 30 m over het gehele traject. Hieruit blijkt dat er zeker winst te behalen valt, maar zelfs in het meest gunstige geval het oordeel niet veranderd (van +- 1/5 naar +- 1/70 per jaar bij meenemen van 30m voorland). Ook op vakniveau verandert geen van de vakken van een onvoldoende naar een voldoende door het meenemen van extra voorland. De

gevoeligheidsanalyse geeft alleen een bovengrens, in een aantal gevallen zal er ook met meer onderzoek blijken dat er geen deklaag aanwezig is.

- **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), tenzij er aanvullende checks worden gedaan. Het waterschap heeft om deze reden een aantal raaien peilbuizen geplaatst, echter is er nog geen sprake geweest van een significant genoeg hoogwater om de relevante analyses te kunnen uitvoeren. Deze beperkende factor zal met name impact hebben op vakken met veel voorland die kwelwegverlengende werking hebben. Binnen traject 36-1 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 36-1.

- **Polderpeil**

Op basis van beheerders kennis wordt een waterstand op maaiveldniveau realistisch geacht voor het polderpeil. Hierbij wordt dus aangenomen dat het polderpeil hoog is waardoor het verval  $\Delta H$  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 piping<sup>2</sup> 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 gevoeligheidsanalyses bij traject 36-2, een vergelijkbaar traject, is echter gebleken dat wanneer 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.

---

<sup>2</sup> Betreft geavanceerde onderzoek, verkenning Doorlatendheidmeting middels HPT sondeertechniek voor een ander traject. Het onderzoek toont echter aan dat de doorlatendheden van SOS realistisch zijn.

### - **Ondergrondmodellering**

Er is voor dit traject nog een extra gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op het verschil tussen globaal SOS, lokaal SOS en SOS gecreëerd met het ondergrondmodel REGIS II. Deze analyse heeft als doel een indruk te geven van het verschil tussen globaal SOS, REGIS II en het SOS aangevuld met lokale schematisatie. Het verschil in uitkomst was kleiner dan op voorhand verwacht, slechts enkele vakken krijgen een ander oordeel bij het gebruik van lokale gegevens.

Belangrijk hierbij is om te benadrukken dat voor de veiligheidsbeoordeling van dijktraject 36-1 de basis schematisatie is gebruikt die is aangevuld met lokale ondergrondgegevens (boringen en sonderingen). Dit geeft op basis van de beschikbare informatie het beste beeld van de ondergrond.

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

Zoals eerder aangegeven is normtraject 36-1 één van de meeste zuidelijke trajecten van Waterschap Aa en Maas. Het gebied wordt gekenmerkt door een relatief zandige bodemopbouw. Als er deklagen aanwezig zijn in het voor- of achterland, zijn deze vaak niet aaneengesloten aanwezig met niet overal doorlopende kleilagen als deklaag aanwezig in voor en achterland. Ook is de aanwezige klei vaak zandiger dan bijvoorbeeld meer westelijk gelegen dijktrajecten. De verwachting van de beheerder (waterschap) voorafgaand aan deze beoordeling is dat een deel van het traject niet piping gevoelig zal zijn vanwege de zandige bodemopbouw. Dit wordt ook bevestigd door de ervaringen van de beheerder (waterschap). Tijdens hoogwaters in het verleden (1993 en 1995, ongeveer een halve meter onder MHW) zijn in het gebied van normtraject 36-1 geen zandmeevoerende wellen gesignaleerd. Wel is er veel kwel aanwezig.

Op basis van de eenvoudige toets bleek echter dat op een groot aantal plekken piping niet met zekerheid viel uit te sluiten op basis van de regels van het WBI2017. Op een groot deel van het traject zijn er kleiige dijken op een zandondergrond aanwezig. De Ministeriële Regeling en de schematiseringshandleiding stellen dat dit een pipinggevoelige situatie is, hetgeen niet aansluit bij de ervaring van de beheerder (waterschap) tijdens hoogwatersituaties. De veronderstelling hierbij is, en zo ook gehanteerd bij voorgaande toetsrondes, is dat er geen situatie kan ontstaan waarbij zanddeeltjes uitspoelen door een geconcentreerde uitstroom van water. Er zou dan geen sprake zijn van een geconcentreerde uitstroming zoals zich voordoet bij een opbarstsituatie in geval van een kleilaag.

Naar aanleiding hiervan is contact opgenomen met Helpdesk Water (referentienummer 18010944). Helpdesk Water antwoordt dat de beheerder (waterschap) terecht aangeeft dat de concentratie van stroomlijnen bij het uittredepunt minder zal zijn in het geval van uitstroom door een vlak, zoals het

geval is bij een ontbrekende deklaag, vergeleken met de situatie van een sloot of een lokaal uitstroompunt. Het type uitstroompunt (vlak, sloot, punt) heeft veel invloed op het ontstaan van een pipe. Door de verminderde concentratie van stroomlijnen bij een ontbrekende deklaag zal er pas bij een relatief hoog verval een zandmeevoerende wel ontstaan. Voor het doorgroeien van een pipe, berekend met het model van Sellmeijer, is het type uittredepunt van kleiner belang: het verschil in het kritieke verval bij de situatie met een sloot (standaard configuratie regel van Sellmeijer) en een vlak is slechts een paar procent, ten gunste van de situatie met een vlak. In de situatie van een vlak, ligt het verval voor initiatie van een pipe echter relatief dicht bij het kritieke verval voor doorgroeien van de pipe, terwijl bij de situatie van een lokaal defect (punt) of sloot, het verschil tussen het ontstaan van een zandmeevoerende wel en een pipe groter is. Op basis hiervan concludeert Helpdesk Water dat piping *niet* uitgesloten kan worden vanwege het ontbreken van een deklaag in het achterland.

Naar aanleiding van de eerste resultaten van de beoordeling van 36-1 zijn deze resultaten intern besproken met het cluster waterveiligheid binnen het waterschap. Als beheerder hebben we geen zandmeevoerende wellen in dit gebied gezien, wel in de westelijker gelegen trajecten. Dit kan verklaard worden doordat bij een situatie van kleidijken op zandondergronden piping later wordt geïnitieerd en dus pas bij een hogere waterstand zandmeevoerende wellen optreden. De maatgevende waterstand is nog nooit opgetreden, het cluster waterveiligheid sluit zich dan ook aan bij de methodiek van het WBI en de wetenschappelijke inzichten die hierover de laatste jaren zijn opgedaan.

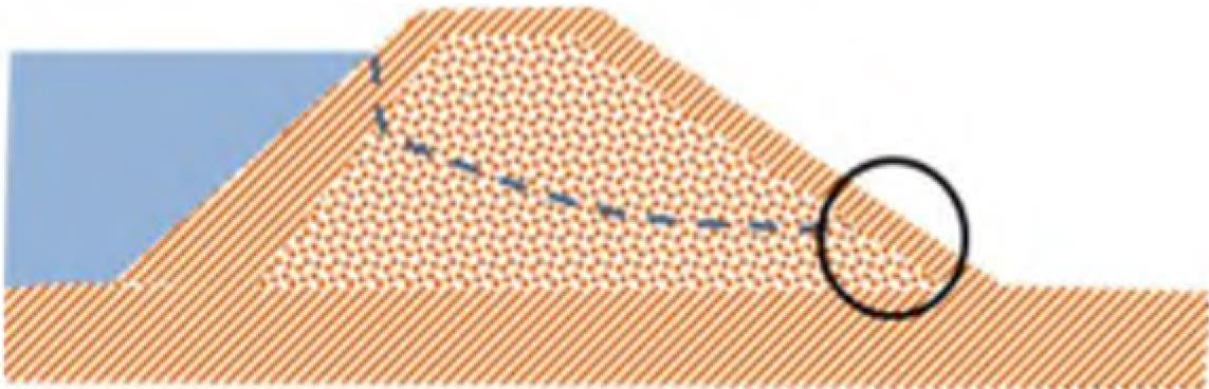
Verder moet geconstateerd worden dat er naast bovengenoemde situatie van kleidijken op een zandondergrond er ook meerdere vakken aanwezig zijn waar uit het recente grondonderzoek is gebleken dat er sprake is van een doorlopende kleilaag voor en achter de dijk. Ook deze vakken hebben een substantiële bijdrage aan de hoge faalkans op piping voor dit dijktraject.

Kortom, door de nieuwe rekenregels, andere inzichten dan in de voorgaande toetsrondes en de strengere eisen voortvloeiend uit de nieuwe norm wordt de hoge faalkans op piping verklaard. De relatie met waargenomen zandmeevoerende wellen zoals bij bijvoorbeeld het aangrenzende dijktraject 36-2 kan hier echter niet gelegd worden.



## Hoofdstuk 7 Microstabiliteit

Micro-instabiliteit betreft het verlies van stabiliteit van grondlagen met zeer beperkte dikte aan het oppervlak van het binnentalud onder invloed van grondwater dat door het grondlichaam stroomt. Bij micro-instabiliteit komt de bedreiging van binnen: eventuele problemen worden veroorzaakt door een hoge freatische lijn in het grondlichaam. Bij micro-instabiliteit door stromend grondwater kan worden gedacht aan het uitspoelen van materiaal uit de kern van de dijk. Ook kan bij microstabiliteit worden gedacht aan instabiliteit van de toplaag door een hoge freatische lijn in de dijk. Als het binnentalud wordt beschermd door een ondoorlatende kleilaag kan deze door het grote potentiaalverschil over de toplaag worden afgedrukt van de dijk. Binnen de Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 wordt dit mechanisme beschreven als microstabiliteit (STMI).



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

De stappen om het mechanisme het mechanisme STMI te beoordelen zijn beschreven in hoofdstuk 8 van de Ministeriële Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Voorschriften bepaling sterkte en veiligheid primaire waterkeringen (Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving, 2016).

In Hoofdstuk 8 van bijlage III 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. Door het tekort aan hoogte is in de beoordeling van het mechanisme GEKB (0) geconstateerd dat het overslagdebiet voor de meeste dijkvakken binnen traject 36-1 groter is dan 0,1 l/s/m. De beoordeling voor STMI is binnen traject 36-1 alleen relevant voor een beperkt aantal dijkvakken.

Voor de beoordeling van STMI in traject 36-1 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 microstabiliteit (Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving, 2017) geschematiseerd;
- Het overslagdebiet is bepaald met behulp van de software Ringtoets versie 17.2.1;



- De hydraulische randvoorwaarden zijn bepaald met behulp van Ringtoets versie 17.2.1. Ringtoets maakt hiervoor gebruik van de door Rijkswaterstaat aangeleverde Hydraulic Region Database [WBI2017\_Bovenmaas\_36-1\_v03];
- De oordelen van STMI zijn geassembleerd met behulp van de tool Assemblagetool WBI2017 v1.0.1.0.

### 7.1.1 Trajectbeschrijving STMI

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

### 7.1.2 Vakindeling STMI

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

- Een overslagdebiet  $<0.1$  l/s/m
- De aanwezigheid van een kleikern die hoger is dan de waterstand bij de norm.
- Een dijk die binnenwaarts van de binnenkruinlijn volledig uit klei bestaat.
- De aanwezigheid van een aantoonbaar werkende drainageconstructie in de binnenteen.

Op basis van deze criteria is het traject opgeknipt in 30 dijkvakken. Er dient opgemerkt te worden dat het eerste criterium (overslagdebiet  $<0.1$  l/s/m) bepaalt of STMI relevant is. Op basis van het eerste criterium blijkt dat bij zeven dijkvakken STMI relevant is. Voor nadere informatie over de vakindelingen wordt verwezen naar het logboek voor STMI in bijlage J.

## 7.2 Veiligheidsoordeel STMI

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

- Eenvoudige toets
  - Relevantietoets type kering
  - Toets op algemene kenmerken
- Gedetailleerde toets per vak
  - Toepassingsvoorwaarde
  - Analyse van belasting en sterkte
- Toets op maat
  - Grondwaterstromingsmodellen

Voor traject 36-1 is de beoordeling uitgevoerd tot en met de gedetailleerde toets per vak.

In paragraaf 7.2.1 worden de beoordelingsresultaten voor STMI op vak- en trajectniveau toegelicht. In paragraaf 7.2.2 wordt de gevoeligheid van de resultaten toegelicht.

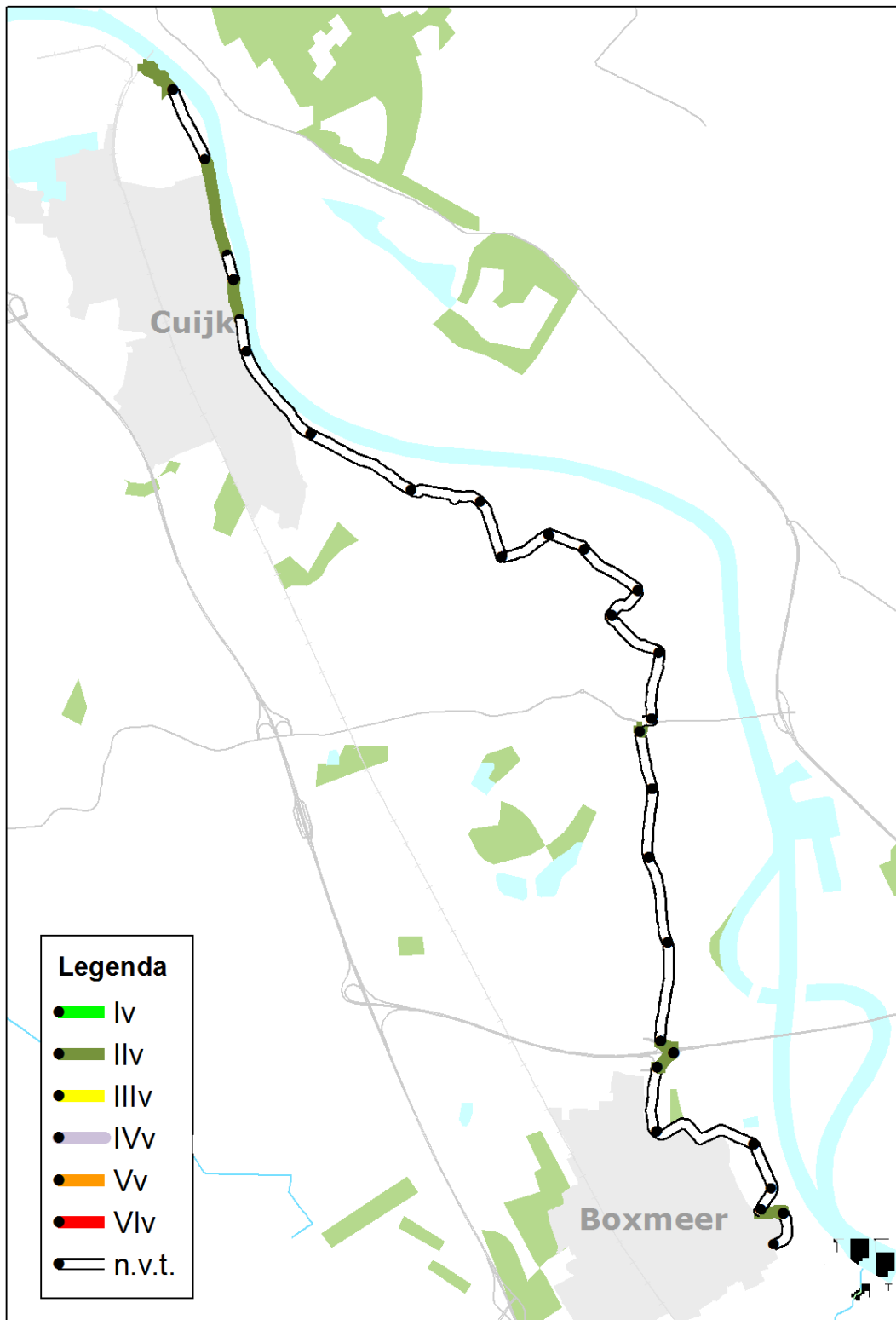
## 7.2.1 Beoordeling STMI

De vakken binnen traject 36-1 voldoen niet aan de criteria van de eenvoudige toets. Om tot een veiligheidsoordeel te komen is verder getoetst met de gedetailleerde toets per vak. Hiervoor geldt dat 23 van de 30 vakken niet voldoen aan het criterium van overslagdebiet <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 bij deze 23 vakken. Voor de overige 7 vakken is de gedetailleerde toets uitgevoerd. In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is te zien dat de vakken in traject 36-1 voor het mechanisme STMI het toetsoordeel IIv (*Voldoet aan de signaleringwaarde*) hebben. 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 STMI is het toetsoordeel voor traject 36-1 Ilt.

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

Vaknaam	Toetsoordeel per vak
36-1_vak01	NVT
36-1_vak02	IIv
36-1_vak03	NVT
36-1_vak04	NVT
36-1_vak05	NVT
36-1_vak06	NVT
36-1_vak07	IIv
36-1_vak08	IIv
36-1_vak09	NVT
36-1_vak10	NVT
36-1_vak11	NVT
36-1_vak12	NVT
36-1_vak13	IIv
36-1_vak14	NVT
36-1_vak15	NVT
36-1_vak16	NVT
36-1_vak17	NVT
36-1_vak18	NVT
36-1_vak19	NVT
36-1_vak20	NVT
36-1_vak21	NVT
36-1_vak22	NVT
36-1_vak23	NVT
36-1_vak24	NVT

36-1_vak25	NVT
36-1_vak26	IIV
36-1_vak27	NVT
36-1_vak28	IIV
36-1_vak29	NVT
36-1_vak30	IIV
Totaal:	IIT



Figuur 14: De toetsoordelen per vak voor het mechanisme STMI. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

## 7.2.2 Gevoeligheid resultaten STMI

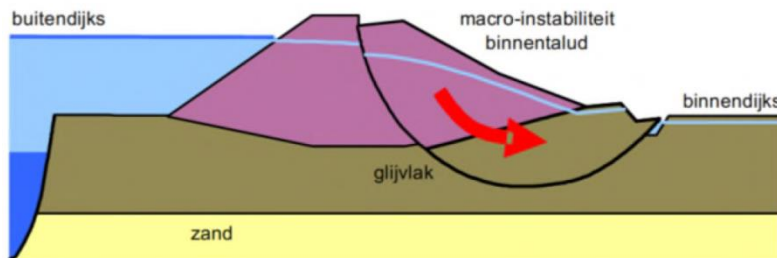
Voor de gedetailleerde toetsing van STMI zijn de taludhelling en de laagdikte nauwkeurig bepaald. Tevens is tijdens de toets uitgegaan van conservatieve waarden voor de hoek van inwendige wrijving, effectieve cohesie, volumieke massa en ligging freatisch vlak. Doordat er met een ongunstige aanname in de gedetailleerde toetsing al voldaan wordt aan de signaleringswaarde, zal verder optimaliseren niet leiden tot een ander (slechter) veiligheidsoordeel. Op basis hiervan kan daarom geconcludeerd worden dat het toetsoordeel voor de gedetailleerde toets van STMI stabiel is en dat nadere optimalisatie van de parameters niet zal leiden tot een ander veiligheidsoordeel.

## 7.2.3 Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling STMI

Uit de beoordeling is geconstateerd dat binnen traject 36-1 ten gevolge van STMI eventuele erosie van een klein gedeelte van de kruin niet een dermate grote verlaging veroorzaakt dat het overslagdebiet, en de daaruit resulterende erosie, vergroot wordt. Dit is in lijn met de ervaring van de beheerder (waterschap). Tijdens het laatste hoogwater is geen erosie van het binnentalud waargenomen.

## Hoofdstuk 8 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 15: Een visualisatie van macrostabieliteit (Fenomenologische beschrijving, 't Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

Bij aanvang van de beoordeling van traject 36-1 in oktober 2017 was de ontwikkeling van het instrumentarium voor macrostabieliteit nog niet afgerond en waren de nieuwe inzichten voor de bepaling van de grensspanning nog niet verwerkt in het instrumentarium. Door deze ontwikkelingen is door het waterschap geconcludeerd dat het beschikbare instrumentarium voor macrostabieliteit tijdens de beoordeling van dijktraject 36-1 nog niet optimaal werkte (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 36-1 is uitgevoerd met de nieuwe release van het programma D-Geostability, versie 18.1. Tijdens de beoordeling is de werkwijze en de filosofie van het WBI2017 gevolgd.

### 8.1.1 Uitgangspunten STBI

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

- Voor de geometrie van het dijklichaam en de omgeving van de dijk is gebruik gemaakt van AHN2-profielen.
- De hydraulische randvoorwaarden die zijn gebruikt zijn van de WBI database [WBI2017\_Bovenmaas\_36-1\_v03].
- Voor de ondergrondschematisering (laagopbouw) is gebruik gemaakt van de software D-Soil Model versie 17.2.1. 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 – Logboek Macrostablieit traject 36-1.

## 8.2 Trajectbeschrijving STBI

De waterkering bestaat in traject 36-1 vrijwel geheel uit een dijk opgebouwd uit een grondlichaam, uitzondering hierop vormt de maasboulevard in Cuijk waar sprake is van een damwandconstructie in de buitenkruinlijn van de waterkering.

De bodemopbouw in het gebied kan worden gekenmerkt als zandig met afwisselend een deklaag met zeer beperkte dikte (variërend tussen 1,0 en 3,0 m. Op basis van AHN2 en de profielen uit het beheerregister blijkt dat de maaiveldhoogte rondom de dijk sterk kan variëren in zowel het voor- als achterland. Het traject kenmerkt zich door de aanwezigheid van een aantal oude Maasarm, die middels dijken zijn afgesloten van de huidige ligging van de Maas. Op een aantal locaties zijn omdijkingen aangelegd op de oude winterbeddingen van de rivier. Op deze locatie worden dan ook veelal kleiige lagen aangetroffen. Daar waar de keringen grenst aan wat hogere gronden, bestaat de ondergrond ook veelal uit zandige grondlagen. In voorgaande toetsrondes voldeed het traject aan de stabiliteitseisen.

### 8.2.1 Vakindeling STBI

De dijkvakindeling is opgesteld op basis van de volgende aspecten:

- Grenzen van de SOS-segmenten;
- Geometrie van dijk en hoogteligging van achterland;
- Waterstanden op de Maas;
- Grondopbouw

Voor dijktraject 36-1 heeft dit op basis van bovenstaande criteria tot een onderverdeling in elf dijkvakken geleid. De minimale dijkvaklengte van de in deze rapportage beschouwde dijkvakken bedraagt circa 350 m en de maximale lengte bedraagt 5.100 m.

Voor nadere informatie over de dijkvakindeling wordt verwezen naar het logboek voor STBI in bijlage G.

## 8.2.2 Hydraulische belastingen STBI

De hydraulische belastingen zijn bepaald met het programma Hydra-NL (2.3.2) in combinatie met Ringtoets (versie 17.2.1). 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 hoge ligging van de freatische lijn als gevolg van deze voor de stabiliteit maatgevende situatie. In paragraaf 2.8 van bijlage G is dit nader beschreven.

## 8.3 Veiligheidsoordeel STBI

Zoals eerder is toegelicht is direct een toets op maat uitgevoerd omdat bij aanvang van de beoordeling van traject 36-1 de ontwikkeling van het instrumentarium voor macrostabiliteit nog niet was afgerond. 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 beschouwt, 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. 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.

### 8.3.1 Resultaten STBI

Om tot een veiligheidsoordeel te komen is direct een toets op maat uitgevoerd. Met behulp van D-Geostability, versie 18.1, zijn de toetsoordelen per vak berekend. In Tabel 11 is te zien dat de vakken in traject 36-1 voor het mechanisme STBI toetsoordelen hebben tussen Iv en Vv. 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 36-1 Vt met een faalkans per traject van  $4,60E-04$ /jaar.



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

Vaknaam	Gedetailleerde toets	Toetsoordeel per vak
A	1,02E-07	IIv
B	3,42E-06	IVv
C	4,69E-10	IV
D	1,17E-07	IIv
E	7,20E-09	IV
F	9,46E-06	IVv
G	2,82E-05	IVv
H	1,00E-10	IV
I (Maasboulevard)		
J (Woonzorg-as en Parkbos)		
K	4,19E-04	Vv
Totaal:	4,60E-04	Vt

### 8.3.2 Gevoeligheid resultaten STBI

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

#### Schematiseringsfactor

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

#### Sterkte opbarstzone

De sterkte in de opbarstzone 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.

#### 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.

### **Stijghoogte in de ondergrond van de waterkering**

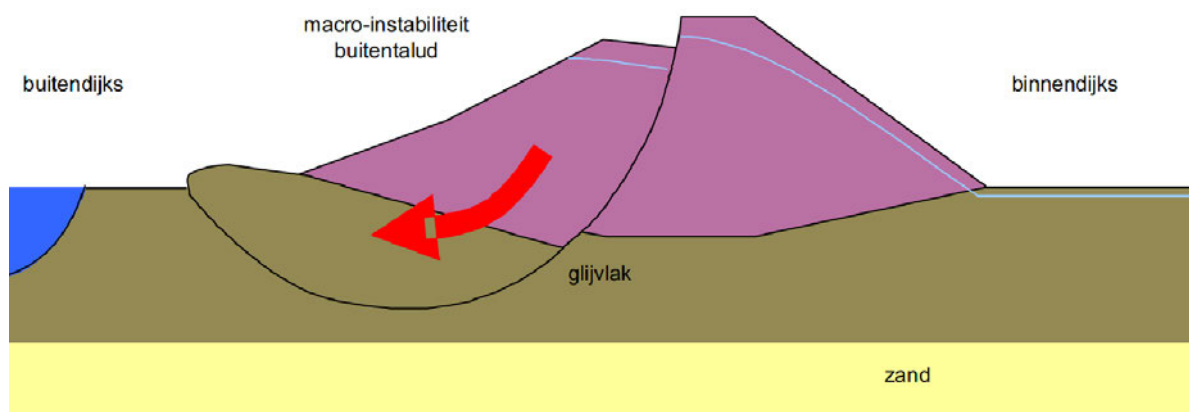
Door de sterk wisselende maaiveldniveaus in het voor- en achterland, maar ook door het sterk wisselend voorkomen van kleiige deklagen en de aanwezigheid van de oude maasarmen, is het afleiden van de stijghoogte niet overal eenduidig. In een aantal situaties is dan ook gerekend met het wel/niet ontstaan van stijghoogteverschillen en mogelijk het ontstaan van grenspotentialen. Binnen een dijkvak is dit gevarieerd en als scenario meegewogen in het eindoordeel.

### **8.3.3 Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling STBI**

Op basis van de uitgevoerde stabiliteitsanalyses voor dijktraject 36-1 van deze veiligheidsbeoordeling komt een wisselend beeld naar voren. Op 5 van de 9 dijkvakken wordt een oordeel toegekend waarbij de situatie voldoet aan de signaleringswaarde en 4 vakken waar dit niet het geval is. Voor 1 vak, Dijkvak K (dp 151+075–dp 174+000) wordt zelfs een stabiliteitsoordeel berekend dat niet voldoet aan de ondergrens. De omstandigheden zijn ook wisselen in het traject, zo wisselt de hoogte van het maaiveld achter de dijk, is niet altijd sprake van een opbarstsituatie en ook de bodemopbouw verschilt binnen het dijktraject soms behoorlijk. Hierin ligt de belangrijkste verklaring van de verschillen in uitkomst tussen de vakken. In voorgaande toetsronden was in dit gedeelte van dijkkring 36 geen sprake van een stabiliteitstekort. Dat in deze beoordelingsronde op delen van het traject wel een stabiliteitstekort wordt berekend, wordt met name veroorzaakt door de hogere veiligheidseisen die voortvloeien uit de norm die geldt sinds 1 januari 2017 en de bijbehorende hogere belastingniveaus (waterstanden). Dit gegeven in combinatie met nieuwe rekenmodellen verklaart voor een belangrijk deel de uitkomsten van deze beoordeling: een uitkomst op trajectniveau die niet voldoet aan de gestelde ondergrens.

## Hoofdstuk 9 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 16: Een visualisatie van macrostabieliteit buitenwaarts (Fenomenologische beschrijving, 't Hart, de Bruijn, & de Vries, 2016).

De beoordeling van STBU is uitgevoerd met dezelfde methodiek en uitgangspunten als STBI. Deze punten worden in dit hoofdstuk niet opnieuw herhaald, hiervoor wordt verwezen naar Hoofdstuk 8 en bijlage G. Dit hoofdstuk beschrijft enkel het beoordelingsresultaat en de duiding van het toetspoot STBU.

### 9.1.1 Resultaten STBU

Om tot een veiligheidsoordeel te komen is direct een toets op maat uitgevoerd. Met behulp van D-Geostability, versie 18.1, zijn de toetsoordelen per vak berekend. In

Tabel 12 is te zien dat alle vakken in traject 36-1 voor het mechanisme STBU het toetsoordeel IIv en voldoen aan de signaleringswaarde. 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 36-1 IIv en voldoet daarmee aan de signaleringswaarde.

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

Vaknaam	Gedetailleerde toets	Toetsoordeel per vak
A	3,43E-07	IIv
B	2,97E-06	IIv
C	2,01E-11	IIv
D	1,26E-07	IIv
E	1,53E-11	IIv
F	4,43E-10	IIv
G	1,00E-10	IIv
H	1,00E-10	IIv
I Maasboulevard		-
J Woonzorg-as en Parkbos		-
K	1,00E-10	IIv
<b>Totaal</b>		<b>IIv</b>

### 9.1.2 Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling STBU

De resultaten voor STBU zijn in lijn met de verwachting van de beheerder (waterschap). In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat bij rivierdijken in het bovenrivierengebied 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 en vergelijkbaar met grote delen van het aangrenzende traject 36-2.

## Hoofdstuk 10 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 36-1 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. Er dient opgemerkt te worden dat voor onderdelen van de beoordeling wel gebruik is van Ringtoets.

### 10.1 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\_36-1\_v03]. De database is gebruikt in combinatie met Hydra-NL (versie 2.3.2) en Ringtoets (versie 17.2.1);
- De faalkansen zijn zoveel mogelijk bepaald met Ringtoets (versie 17.2.1).

Voor meer achtergrondgegevens over de uitgangspunten wordt verwezen naar Bijlage H – Logboek Kunstwerken traject 36-1.

## 10.2 Kunstwerken binnen traject 36-1

Binnen traject 36-1 zijn 18 kunstwerken in de primaire waterkering. Tabel 13 geeft een overzicht van deze kunstwerken.

Tabel 13: Overzicht van de kunstwerken in de primaire kering in traject 36-1

Kunstwerknaam	Type kunstwerk	Kenmerk kunstwerk
Stuw Waranda	Uitwateringssluis	Uitwateringssluis in hoge grond aansluitende op traject 36-1
Loerangelsestraat	Uitwateringssluis	Riooloverstort Luneven met leiding van Ø 1500 mm
Hoogwatergemaal Boxmeer	Uitwateringssluis	Twee kokers (1,1x1,1 m en nog een leiding van Ø 500 mm
Beugense Maasstraat	Uitwateringssluis	Leiding door de waterkering Ø 600 mm
Hagelkruisstraat	Uitwateringssluis	Leiding door de waterkering Ø 600 mm
Hazewinkel	Uitwateringssluis	Leiding door de waterkering Ø 600 mm
Oeffeltse Raamsluis	Uitwateringssluis	2 kokers (2,0x1,85 m)
Looisluis	Uitwateringssluis	Leiding door de waterkering Ø 900 mm
Klooster st. Agatha	Uitwateringssluis	Leiding door de waterkering Ø 600 mm
Riooloverstort Veerstraat	Uitwateringssluis	Riooloverstort met leiding van Ø 500 mm
Effluentleiding RWZI Cuijk	Uitwateringssluis	Effluentleiding Ø 1300 mm
Riooloverstort Padbroek	Uitwateringssluis	Riooloverstort met leiding van Ø 1000 mm
Riooloverstort Nutricia	Uitwateringssluis	Riooloverstort met leiding van Ø 600 mm
Riooloverstort 't Zand	Uitwateringssluis	Riooloverstort met leiding van Ø 1000 mm
Coupure Maasstraat Cuijk	Coupure	Coupure zit in tunneltje onder Maasstraat Cuijk
Riooloverstort Deken v/d Ackerhof	Uitwateringssluis	Riooloverstort met leiding van Ø 1000 mm
Hoogwatergemaal Cuijk Sportpark	Gemaal	Combinatie gemaal/vrij vervalleiding
Coupure Katwijk	Coupure	Coupure in Veerweg

## 10.3 Veiligheidsoordeel kunstwerken

Zoals eerder toegelicht is direct een toets op maat uitgevoerd. In paragraaf 10.3.1 worden de beoordelingsresultaten voor de kunstwerken op vak- en trajectniveau toegelicht. In paragraaf 10.3.3 wordt de duiding van de resultaten toegelicht.

### 10.3.1 Resultaten kunstwerken

Om tot een veiligheidsoordeel te komen is direct een toets op maat uitgevoerd. Dit betreft de beoordeling van een zeventiental kunstwerken die in het dijktraject 36-1 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 Ringtoets worden berekend.

Tabel 14: 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
KW001 Stuw Waranda	IV <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>
KW005 Loerangelsestraat (Luneven)	n.v.t.	I <sub>v</sub>	I <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>
KW015 Hoogwatergemaal Boxmeer	n.v.t.	I <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>
KW042 Beugense Maasstraat	n.v.t.	I <sub>v</sub>	I <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>
KW046 Hagelkruisstraat	n.v.t.	I <sub>v</sub>	I <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>
KW061 Hazewinkel	n.v.t.	I <sub>v</sub>	I <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>
KW079 Oeffeltsebeek	n.v.t.	II <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>
KW101 Looisluis	n.v.t.	II <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>
KW109 Klooster st. Agatha	n.v.t.	I <sub>v</sub>	I <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>
KW112 Veerstraat	n.v.t.	I <sub>v</sub>	I <sub>v</sub>	I <sub>v</sub>
KW121 Effluentleiding RWZI	n.v.t.	I <sub>v</sub>	I <sub>v</sub>	I <sub>v</sub>
KW130 Riooloverstort Padbroek	n.v.t.	I <sub>v</sub>	IV <sub>v</sub>	I <sub>v</sub>
KW136 Riooloverstort Nutricia	n.v.t.	I <sub>v</sub>	I <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>
KW138 Riooloverstort 't Zand	n.v.t.	I <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>
KW142 Coupure Maasstraat Cuijk	n.v.t.	III <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>
KW145 Deken v/d Ackerhof	n.v.t.	I <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>
KW160 Hoogwatergemaal Cuijk Sportpark	n.v.t.	I <sub>v</sub>	III <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>
KW170 Coupure Katwijk	III <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>	IV <sub>v</sub>	II <sub>v</sub>

In Tabel 14 is te zien dat de kunstwerken toetsoordelen hebben tussen I<sub>v</sub> (voldoet ruim aan de signaleringswaarde) en IV<sub>v</sub> (voldoet aan de signaleringswaarde). De toetsoordelen per vak per mechanisme kunnen geassembleerd worden tot toetsoordelen op trajectniveau, zie Tabel 15.



Tabel 15: Overzicht beoordelingsresultaten per toetsspoor op trajectniveau

Toetsspoor	Categorie	Omschrijving categorie
Hoogte (HTKW)	IV <sub>t</sub>	Voldoet mogelijk aan de ondergrens. Debet hieraan zijn stuw Waranda en coupure Katwijk.
Betrouwbaarheid sluiting (BSKW)	II <sub>t</sub>	Voldoet aan de signaleringswaarde. Bij een viertal kunstwerken wordt het oordeel aangescherpt op basis van de mogelijkheid tot aanscherping van de sluitingsprotocollen.
Piping en heave (PKW)	II <sub>t</sub>	Voldoet aan de signaleringswaarde. Er is bij geen van de kunstwerken sprake van een risico ten aanzien van <i>piping</i> .
Stabiliteit constructie en grondlichaam (STCG)	I <sub>t</sub>	voldoet ruim aan de signaleringswaarde. Voor alle kunstwerken geldt dat stabiliteit constructie en grondlichaam niet als risico bijdragend zijn beoordeeld.
Sterkte constructieonderdelen (STCO)	IV <sub>t</sub>	Voldoet mogelijk aan de ondergrens. Basis hiervoor is de beoordeling van de coupure Katwijk en riooloverstort Padbroek. De verwachting is dat een nadere analyse van de keermiddelen nog kan leiden tot een positieve bijstelling van het oordeel.

### 10.3.2 Kadeconstructie Maasboulevard

Onderdeel van dit dijktraject is een langsconstructie in de vorm van een kadeconstructie ter plaatse van de Maasboulevard te Cuijk. De kadeconstructie is recent 2007 aangelegd. De buitenzijde is geheel voorzien van een verankerde damwandconstructie en waarbij buitendijks een boulevard aanwezig is. Vanwege deze bijzondere constructie is een toets op maat uitgevoerd waarin is gekeken naar de bijdrage van de relevante faalmechanismen, hoogte, stabiliteit en piping. Voor deze mechanismen is een bijdrage aan de overstromingsrisico's van normtraject 36-1 bepaald. In bijlage K is een uitgebreide analyse opgenomen voor de kadeconstructie van de maasboulevard. De resultaten van deze analyses zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 16: Overzicht beoordelingsresultaten op vakniveau Maasboulevard Cuijk

Kunstwerk	Categorie	Omschrijving categorie
Hoogte	II <sub>v</sub>	Voldoet aan de signaleringswaarde
Piping	II <sub>v</sub>	Voldoet aan de signaleringswaarde
Instabiliteit buitenwaarts	II <sub>v</sub>	Voldoet aan de signaleringswaarde
Instabiliteit binnenwaarts	II <sub>v</sub>	Voldoet aan de signaleringswaarde

Uit tabel 16 komt naar voren dat voor alle beschouwde faalmechanismen wordt voldaan aan de eisen van de signaleringswaarde. Hieruit kan worden opgemaakt dat het gedeelte Maasboulevard Cuijk geen substantiële bijdrage aan het overstromingsrisico van dijktraject 36-1 zal hebben.

### 10.3.3 Duiding resultaat veiligheidsbeoordeling Kunstwerken

Het tekort aan kerende hoogte van het gehele dijktraject 36-1 is ook zichtbaar bij de twee kunstwerken, stuw Waranda en coupure Katwijk die ook op hoogte keren. Voor piping geldt dat overal wordt voldaan aan de eisen en dat dit geen bijdrage heeft aan het overstromingsrisico van het dijktraject.

Een viertal kunstwerken (Stuw Waranda, Oeffeltsebeek, Coupure Maasstraat Cuijk, Coupure Katwijk) scoort op basis van de huidige sluitingsprotocollen aan categorie IV<sub>V</sub> voor Betrouwbaarheid sluiting (BSKW). Het waterschap is als beheerder voornemens om de sluitingsprotocollen te updaten voor de peildatum van 1 januari 2023. Hierdoor kan het oordeel op het onderdeel BSKW worden aangescherpt, dit aangescherpte oordeel wordt in deze beoordeling aangehouden. In tabel 14 is het aangescherpte oordeel weergegeven. Het waterschap zal voor 2023 de sluitingsprotocollen updaten.

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. Dit beeld is vergelijkbaar met het aangrenzende dijktraject 36-2.

# Hoofdstuk 11 Indirecte en overige 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.

## 11.1 Voorland toetssporen

De voorlandsporen golfafslag voorland (VLGA), afschuiving voorland (VLAF) en zettingsvloeiing voorland (VLZV) worden gekenmerkt als indirecte toetssporen (groep 5). Dit zijn toetssporen die niet direct tot falen van der waterkering leiden, maar wel de kans vergroten. 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 voorland) in combinatie met de diepte van de geul (ca. 9 meter) en de golfcondities (altijd kleiner dan 1,0 meter) en de aanwezigheid van oeververdediging. Deze omstandigheden zijn niet veranderd. Daar het WBI enigszins anders is opgezet dan de VTV lopen we hierna de WBI toetssporen één voor één na.

### 11.1.1 Uitgangspunten:

- Op grote strekkingen zijn zeer lange voorlanden aanwezig;
- Beperkte diepte geul (ca. 9 meter);
- Beperkte golfcondities (kleiner dan 1,0 m, zie logboek GABU);
- Aanwezigheid van een oeververdediging;
- Invloedszone maximaal 5 meter (zie logboek STBU);

### 11.1.2 Golfslag Voorland (VLGA)

In dit toetsspoor wordt beoordeeld of het mechanisme golfafslag voorland invloed heeft op de overstromingskans van het dijktraject. Hier wordt gekeken naar het signaleringsprofiel, dit ligt tussen de 10 tot 30 meter uit de teen van de dijk bij een golfhoogte van 1,0m. Als de eenvoudige toets gevolgd wordt, blijkt uit stap E.1. dat voor 90% van het dijktraject de rand van het voorland volgens het rekenprofiel verder buitendijks ligt dan de rand van het signaleringsprofiel. Golfafslag levert op deze strekking hierdoor geen wezenlijk negatieve invloed op de faalkans van andere mechanismen. Voor het resterende deel van het traject blijkt de faalkans verwaarloosbaar omdat schadelijke golfafslag binnen dit traject niet optreedt, zoals volgt uit stap E.2 van de eenvoudige toets. Dit komt door een combinatie van relatief lage maatgevende golfhoogtes (volgens de methodiek voor het afleiden van golven voor bekledingen) en de diepe ligging van het voorland bij een normatieve waterstand ten opzichte van de significante golfhoogtes.

Gezien de aanwezige voorlandlengten in het dijktraject, de beperkte diepte van de geul, de beperkte golfcondities en de aanwezigheid van oeververdedigingen is het deelmechanisme VLGA verwaarloosbaar.

### 11.1.3 Afschuiving Voorland (VLAf)

In dit toetspoot wordt beoordeeld of de kans dat het restprofiel de invloedzone van de dijk doorsnijdt voldoende klein is, bij het optreden van afschuiving van het voorland. Binnen de eenvoudige toets van het deelmechanisme afschuiving voorland wordt bepaald of mogelijke afschuiving van het voorland schadelijk is voor de waterkering. Hiervoor worden binnen stap E.1 de rekenprofielen getoetst aan de signaleringsprofielen, waarbij de schematiseringsregels afhangen van de aanwezigheid van vooroeverbestorting. Aan de hand van de invloed- en margezone van deze profielen kan voor het overgrote deel van het dijktraject gesteld worden dat, conform stap E.1. van de eenvoudige toets, afschuiven niet schadelijk is voor de waterkering en de faalkans voor deze vakken verwaarloosbaar is.

In twee overige vakken binnen het dijktraject ligt de oever op afzienbare afstand uit de teen van de waterkering en wordt niet voldaan aan stap E.1. Deze vakken worden binnen toetsstap E.2 *nét* niet goedgekeurd; de profielhellingen zijn getalsmatig precies gelijk aan de hellingseis van 1V:4.5H, bij *nét* iets flauwere hellingen speelt afschuiven geen rol meer. De oever geniet bescherming van een oeverbestorting, terwijl deze niet in de schematisatie is meegenomen, wat leidt tot een conservatieve schematisatie. Tevens zijn er in de afgelopen decennia geen problemen opgetreden met de oeverbestorting op deze locaties. De beheerder (het waterschap) stelt om voorgaande redenen, en gezien het feit dat de vakken in de vorige toetsrondes zijn goedgekeurd, de faalkansbijdrage dan ook verwaarloosbaar.

Voor meer achtergrondgegevens over de uitgangspunten wordt verwezen naar Bijlage L – Logboek VLAf traject 36-1.

### 11.1.4 Zettingsvloeiing Voorland (VLZV)

In dit toetspoot wordt beoordeeld of de kans dat het restprofiel het beoordelingsprofiel van de dijk doorsnijdt voldoende klein is, bij het optreden van zettingsvloeiing in het voorland. Voor de eenvoudige toets wordt er van uitgegaan dat de gehele vooroever uit verwekings- en bresgevoelig zand bestaat en er sprake is van een grote dynamiek van de vooroever. Als de eenvoudige toets gevolgd wordt blijkt uit stap E.1. dat wanneer er een volledig bestorte vooroever aanwezig is, zettingsvloeiing niet kan optreden en dus niet schadelijk kan zijn. Zoals reeds weergegeven in de uitgangspunten is er over het gehele traject een vooroeverbestorting aanwezig, de faalkans is hierdoor verwaarloosbaar.

## 11.2 Niet waterkerende objecten

Op basis van de resultaten van de directe toetsporen blijkt dat dijktraject 36-1 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.

Bovenstaande redenring voor de beoordeling van NWO's geldt voor dijktraject 36-1 behalve dijkvak Parkbos (dijkpaal 145,0 - 151,75). Dit dijkvak voldoet op de belangrijkste sporen omdat hier recentelijk een dijversterking heeft plaatsgevonden bij de ontwikkeling van woningen en appartementen tegen de waterkering. Bij het ontwerp van deze woningen en appartementen is rekening gehouden met het zogenaamde profiel van vrije ruimte, een ruimtelijke reservering die eventuele toekomstige uitbreidingen van de waterkering borgt. Alle NWO zijn buiten dit profiel van vrije ruimte aangebracht en vallen daarmee buiten de waterkering.

## 11.3 Aansluiting hoge grond

Het WBI schrijft geen methode voor om de aansluiting op hoge gronden te beoordelen. Wel is er een handelingsperspectief via de helpdesk water beschikbaar gesteld. Voor de aansluiting van dijktraject 36-1 op de hoge grond bij Boxmeer is de hoogte van het maaiveld ter plaatse van de aansluiting vergeleken met de hydraulische belastingniveaus ter plaatse. De kruinhoogte van de aansluiting is bepaald aan de hand van een AHN2 hoogtemodel, de kruinhoogte ter plaatse is NAP +15,2m. Het hydraulisch belastingniveau ligt op NAP +15,5m. Bij de aansluiting van de primaire waterkering op de hoge grond is de hoogte van de hoge grond lager de kruinhoogte. Gezien dit geconstateerde verschil en de resultaten van GEKB voor dit deel van het dijktraject kan geconcludeerd worden dat de huidige aansluiting op de hoge grond niet voldoet. Onderstaande figuur illustreert dit goed. Er ontstaat een 'gat' in de kering ter plaatse van de aansluiting van dijkkring 36-1 op de weg langs de bebouwing. Om aan het HBN bij de ondergrens te voldoen zou er een aansluitend geel gearceerd gebied moeten ontstaan, om aan de signaleringswaarde te voldoen een aaneengesloten groene arcering. Beide is niet het geval.





Figuur 17: Aansluiting dijktraject 36-1 op hoge grond

Op basis van deze beoordeling kan worden geconcludeerd dat het aansluitpunt niet meer klopt met de Waterwet. Hiermee ligt er ook op dit onderdeel een veiligheidsopgave en dienen maatregelen genomen te worden om de aansluiting te herstellen. Hierbij is het goed om te vermelden dat er een beleidsmatig traject loopt waarin de hoge gronden lijn en de aansluiting hiervan op de dijktrajecten 58 en 36-1 worden her beschouwd met de provincie en andere betrokken partijen. Een vergelijkbare situatie geldt voor het kunstwerk stuw Waranda gelegen in een beekdal en aansluit op hoge gronden. Het maaiveld waarop wordt aangesloten ligt hier op NAP +14,9 tot 15,1m de HBN op NAP +15,0 tot 15,5m. Ook bij de beoordeling van het kunstwerk voldeed de stuw niet op hoogte (HTKW).

## Hoofdstuk 12 Veiligheidsoordeel 36-1

Tabel 17 geeft een overzicht van de oordelen per mechanisme binnen traject 36-1.

Tabel 17: De toetsoordelen per mechanisme. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

Toetsspoor	Code	Categorie
Macrostabieleit binnenwaarts	STBI	Vt
Macrostabieleit buitenwaarts	STBU	IIt
Piping	STPH	VIt
Microstabieleit	STMI	IIt
Grasbekleding erosie buitentalud	GEBU	Vt
Grasbekleding afschuiven buitentalud	GABU	Vt
Grasbekleding erosie kruin en binnentalud	GEKB	IVt
Grasbekleding afschuiven binnentalud	GABI	Vt
Hoogte kunstwerk	HTKW	IVt
Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk	BSKW	IIt
Piping bij kunstwerk	PKW	IIt
Sterkte en stabiliteit puntconstructies	STKWp	Vt

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 36-1 heeft het oordeel D (Voldoet ruim niet aan de ondergrens).

Tabel 18: Het assembleresultaat van het veiligheidsoordeel

Combineren van toetssporen	Categorie	Benaderde faalkans
Toetssporen in groep 1 en 2	D	3.05E-01
Toetssporen in groep 3 en 4	C	
<b>Gecombineerd veiligheidsoordeel</b>	<b>D</b>	

Tabel 19 geeft een overzicht van het toetsresultaat indirecte toetssporen (tellen niet mee met veiligheidsoordeel).

Tabel 19: De toetsoordelen indirecte toetssporen. De resultaten zijn ingedeeld conform de categorieën van het Rapport Assemblageprotocol WBI 2017 (Deltares, 2016)

Toetsspoor	Code	Categorie
Golfafslag voorland	VLGA	FV_ET
Afschuiving voorland	VLAF	FV_ET
Zettingsvloeiing voorland	VLZV	FV_ET

## 12.1 Duiding beoordelingsresultaat traject 36-1

De relatief grote afstand tot de norm wordt voor dijktraject 36-1 bepaald door een combinatie van faalmechanismen die niet voldoen aan de gestelde ondergrens in de norm. De resultaten laten op veel punten overeenkomsten zien met het aansluitende dijktraject 36-2. In beide trajecten is sprake van een normsprong met de bijbehorende hogere waterstanden. In 36-1 is deze normsprong kleiner hetgeen voor een aantal toetssporen zoals macrostabiliteit binnen en buitenwaarts een substantieel beter beeld laat zien dan dijktraject 36-2. Naast de kleinere normsprong wordt dit ook verklaard door een andere bodemopbouw. De waterkering in dijktraject 36-1 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).

Daarnaast is tijdens deze beoordeling geconstateerd dat er bij een aantal vakken sprake is van de situatie waarbij de graszode direct gelegen is op zand. Door deze constatering kan geen gedetailleerde beoordeling voor de toetssporen GEKB, GEBU en GABU worden uitgevoerd. Aa en Maas heeft de Helpdesk Water geraadpleegd en naar aanleiding hiervan een overleg gehad met experts (een verslag hiervan is opgenomen als bijlage 2 in het logboek GEBU). Hieruit kwam naar voren dat op basis van de beschikbare kennis moeilijk uitspraken kunnen worden gedaan over de erosiebestendigheid van graszodes op de taluds van een zanddijk. Op basis van een eerste inventarisatie die door Aa en Maas is gedaan bij collegabeheerders (waterschappen) komt het beeld naar voren dat dit bij tenminste 5 andere beheerders (waterschappen) speelt, ook op regionale keringen. Op basis van deze constatering is het idee om hier een landelijk onderzoek naar te doen zodat er op een consistente manier wordt omgegaan met graszodes op zand bij dijken. Omdat het opzetten van het onderzoekstraject nog een te zetten stap is, zal dit niet op korte termijn tot antwoorden leiden.

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 net als bij dijktraject 36-2 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. Dijkstrekkingen die voorheen als niet pipinggevoelig werden gezien geven nu juist hoge faalkansen. In het verleden zijn tijdens hoogwater geen zandmeevoerende wellen geconstateerd wat de uitkomsten lastiger te duiden maakt dan bijvoorbeeld in dijktraject 36-2 waar wel zandmeevoerende wellen zijn waargenomen. Door experts vanuit de helpdeskwater is aangegeven dat de voor in 36-1 kenmerkende situatie waarbij op enkele locaties kleidijken op een zandondergrond aanwezig is, toch moet worden aangemerkt als pipinggevoelig. In deze situatie zal eerst vooral kwel optreden, zoals ook waargenomen tijdens hoogwater, maar uiteindelijk in een later stadium ook een risico op zandmeevoerende kwel ontstaat.



Zodra deze zandmeevoerende kwel optreedt ontstaat snel een kritische situatie waarbij zand onder de dijk wordt geruimd. Dit in tegenstelling tot een 'klassieke opbarstsituatie' waarbij eerst een zandmeevoerende wel ontstaat die zich in eerste instantie geleidelijk zal ontwikkelen en niet direct sprake is van een kritieke situatie. De situatie van kleidijken op een zandondergrond, hetgeen ook in Limburg wordt aangetroffen, is onderwerp van landelijk onderzoek. Waterschap Aa en Maas zal dit op de voet volgen en zelf deelnemen aan onderzoeken via de POV piping om de laatste inzichten en kennis te betrekken in het verbetertraject van de waterkeringen van dijktraject 36-1.

Het tekort aan kerende hoogte van het gehele dijktraject 36-1 is ook zichtbaar bij een tweetal kunstwerken. Voor de kunstwerken en de damwandconstructie langs de Maasboulevard kan in het algemeen geconcludeerd worden dat in vergelijking met de andere bepalende faalmechanismen als piping, macrostabiliteit en de bekledingssporen op het binnentalud, de bijdrage aan de faalkans op dijktrajectniveau gering is.

De voorlanden zijn als indirecte mechanisme beoordeeld waar het oordeel gebaseerd is op inzichten uit de vorige toetsronden die gestaafd zijn middels een beoordeling op basis van het WBI. Dit gebied kenmerkt zich veelal uitgestrekte voorlanden en gedegen oeververdigingen waardoor de voorlanden in de eenvoudige toetsing goed zijn bevonden.

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.

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 20 wordt een overzicht gegeven van alle beoordeelde toetssporen per toetsvak. In tabel 21 wordt een overzicht gegeven van alle beoordeelde toetssporen van de kunstwerken.

Tabel 20: Assemblageresultaat vakoorden van de directe en indirecte toetsporen

Assemblageresultaat totaal vakoordeel over alle (directe) toetsporen										Indirecte toetsporen (tellen niet mee met vakoordeel)			
Vakindeling	36-1	Toetsresultaat per toetspoor per vak								VLGA	VLAf	VLZV	
kilometreering van	tot	Totaalvakoordeel	STBI	STBU	STPH	STMI	GEBU	GABU	GEKB	GABI			
0	371	Vv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
371	400	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
400	418.7	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
418.7	419	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
419	450	Vv	Ilv	Ilv	Vv	Ilv	Ilv	Vv	Ilv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
450	683	Vv	Ilv	Ilv	Vv	Ilv	Ilv	Vv	Ilv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
683	771	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
771	953.6	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
953.6	954	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Vv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
954	1050	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Vv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
1050	1452.7	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Vv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
1452.7	1453	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
1453	1500	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
1500	1600	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
1600	1810	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
1810	2296	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
2296	2300	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
2300	2609	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
2609	2614	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
2614	2614.3	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
2614.3	3294.7	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
3294.7	3295	Vv	Ilv	Ilv	Vv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
3295	3300	Vv	Ilv	Ilv	Vv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
3300	3323	Vv	Ilv	Ilv	Vv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
3323	3524.9	Vv	Ilv	Ilv	Vv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
3524.9	3525	Vv	Ilv	Ilv	Vv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
3525	3720	Vv	Ilv	Ilv	Vv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
3720	3722	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
3722	3722.4	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
3722.4	3749	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
3749	4200	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
4200	4366	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
4366	4474	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
4474	4753	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
4753	4753.2	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
4753.2	4907	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
4907	5100	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
5100	5666.7	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
5666.7	5667	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
5667	6350	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
6350	6379	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
6379	6379.4	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
6379.4	6700	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
6700	6800	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
6800	6996.5	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
6996.5	6997	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Vv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
6997	7000	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
7000	7110	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
7110	7120.7	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
7120.7	7121	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
7121	7218	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Vv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
7218	7218.3	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Vv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
7218.3	7600	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Vv	Vv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
7600	7880	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Vv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
7880	7918	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Vv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
7918	7918.1	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Vv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
7918.1	8186	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
8186	8200	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
8200	8232	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
8232	8300	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
8300	8582	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
8582	8582.4	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
8582.4	8700	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Vv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
8700	8994.7	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Vv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
8994.7	8995	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
8995	9090	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
9090	9493	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	Ilv	Ilv	Ilv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET

Assemblageresultaat totaal vakoordeel over alle (directe) toetssporen											Indirecte toetssporen (tellen niet mee met vakoordeel)			
Vakindeling	36-1		Toetsresultaat per toetspoor per vak								VLGA	VLAF	VLZV	
	kilometreering van	tot	Totaalvakoordeel	STBI	STBU	STPH	STMI	GEBU	GABU	GEKB				GABI
9493	9500	Vlv		Iv	Ilv	Vlv	-	Ilv	Ilv	IVv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
9500	9694.5	Ilv		Iv	Ilv	Vlv	-	Ilv	Ilv	IVv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
9694.5	9695	Vlv		Iv	Ilv	Vlv	-	Ilv	Ilv	IVv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
9695	10125.8	Vlv		Iv	Ilv	Vlv	-	Ilv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
10125.8	10126	Vlv		Iv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
10126	10350	Vlv		Iv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
10350	10356	Vlv		Iv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
10356	10400	Vv		Iv	Ilv	-	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
10400	10456	Vv		IVv	Ilv	-	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
10456	10681	Vlv		IVv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
10681	10686	Vlv		IVv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
10686	10686.2	Vlv		IVv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
10686.2	11196	Vlv		IVv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
11196	11219	IVv		IVv	Ilv	-	-	Iv	Ilv	IIIv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
11219	11250	Vlv		IVv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
11250	11300	Vlv		IVv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
11300	11316	Vlv		IVv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
11316	11804	Vlv		IVv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IVv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
11804	11982	Vlv		IVv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IVv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
11982	12106	Vlv		IVv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IVv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
12106	12106.1	Vlv		IVv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
12106.1	12300	Vlv		IVv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
12300	12336	Vlv		IVv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
12336	12617	Vlv		IVv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
12617	13239	Vlv		IVv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
13239	13315.9	Vv		IVv	Ilv	Vv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
13315.9	13316	Vv		IVv	Ilv	Vv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
13316	13350	Vv		IVv	Ilv	Vv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
13350	13400	Vv		Iv	Ilv	Vv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
13400	13421	Vv		Iv	Ilv	Vv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
13421	13600	Vlv		Iv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
13600	13619	Vlv		Iv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
13619	13621	Vlv		Iv	Ilv	Vv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
13621	13800	Vv		Iv	Ilv	Vv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
13800	13950	Vv		Iv	Ilv	Vv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
13950	14050	Vv		Iv	Ilv	Vv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
14050	14100	Vv		Iv	Ilv	Vv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
14100	14104	Vv		Iv	Ilv	Vv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
14104	14130	Vv		Iv	Ilv	IVv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
14130	14150	Vv		Iv	Ilv	IVv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	-	FV_ET
14150	14421.5	Vv		-	-	IVv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	-	FV_ET
14421.5	14422	Vv		-	-	IVv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	-	FV_ET
14422	14423	Vv		-	-	IVv	-	Iv	Ilv	-	Vv	FV_ET	-	FV_ET
14423	14445	IVv		-	-	IVv	-	Iv	Ilv	-	-	FV_ET	-	FV_ET
14445	14500	Ilv		-	-	-	-	Iv	Ilv	-	-	FV_ET	-	FV_ET
14500	14520	Ilv		-	-	-	-	Iv	Ilv	-	-	FV_ET	-	FV_ET
14520	14600	Ilv		-	-	-	-	Iv	Ilv	-	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
14600	14769	Ilv		-	-	-	-	Iv	Ilv	-	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
14769	14771	Ilv		-	-	-	-	Iv	Ilv	-	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
14771	14793	Ilv		-	-	-	IVv	Ilv	Ilv	Ilv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
14793	14863	Ilv		-	-	Iv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
14863	14900	Ilv		-	-	Iv	Ilv	Ilv	Ilv	Ilv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
14900	14942	Vv		-	-	Iv	Ilv	Ilv	Vv	Ilv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
14942	15000	Vv		-	-	Iv	Ilv	Ilv	Vv	Ilv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
15000	15165	Vv		-	-	Iv	Ilv	Ilv	Vv	Ilv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
15165	15168	Vv		-	-	Iv	Ilv	Ilv	Vv	Ilv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
15168	15171.7	Vv		-	-	Iv	Ilv	Ilv	Vv	Ilv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
15171.7	15172	Vv		-	-	Iv	Ilv	Ilv	Vv	Ilv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
15172	15175	Vv		-	-	Iv	Ilv	Ilv	Vv	IIIv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
15175	15293	Vv		Vv	Ilv	Iv	-	Vv	Vv	IIIv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
15293	15434	Vv		Vv	Ilv	Iv	-	Vv	Vv	IIIv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
15434	15445	Vlv		Vv	Ilv	Vlv	-	Vv	Vv	IIIv	Ilv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
15445	15550	Vlv		Vv	Ilv	Vlv	-	Vv	Vv	IIIv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
15550	15743	Vlv		Vv	Ilv	Vlv	-	Vv	Ilv	IIIv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
15743	15900	Vv		Vv	Ilv	Vv	-	Iv	Ilv	IIIv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
15900	16149	Vv		Vv	Ilv	Vv	-	Iv	Ilv	IIIv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET
16149	16200	Vv		Vv	Ilv	Vv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
16200	16448	Vv		Vv	Ilv	Vv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
16448	16475	Vlv		Vv	Ilv	Vlv	-	Vv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
16475	16475.1	Vlv		Vv	Ilv	Vlv	-	Vv	Ilv	IVv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
16475.1	16872	Vlv		Vv	Ilv	Vlv	-	Iv	Ilv	IVv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
16872	17100	Vv		Vv	Ilv	Ilv	-	Iv	Ilv	IVv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
17100	17150	Vv		Vv	Ilv	IIIv	-	Iv	Ilv	IVv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
17150	17276	Vv		Vv	Ilv	IIIv	-	Iv	Ilv	IVv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
17276	17277	Vv		Vv	Ilv	IIIv	-	Iv	Ilv	IIIv	Vv	FV_ET	FV_ET	FV_ET
17277	17677	Vv		Vv	Ilv	IIIv	-	Iv	Ilv	IIIv	-	FV_ET	FV_ET	FV_ET

Tabel 21: Assemblageresultaat vakoorden van alle directe toetsporen

<b>Assemblageresultaat totaal kunstwerkoordeel over alle (kunstwerk)toetsporen</b>							
Kunstwerken op referentielijn		Toetsresultaat per toetspoor per kunstwerk					
op kilome: RDx	RDy	Totaal val	HTKW	BSKW	PKW	STKWp	STKWI
100		IVv	IVv	IIv	IIv	IIv	
500		IIv	-	IV	IIv	IV	
1500		IIv	-	IV	IIv	IIv	
4200		IIv	-	IV	IIv	IV	
4500		IIv	-	IV	IIv	IV	
6100		IIv	-	IV	IIv	IV	
7900		IIv	-	IIv	IIv	IIv	
10100		IIv	-	IIv	IIv	IIv	
10900		IIv	-	IV	IIv	IV	
11200		IV	-	IV	IV	IV	
12100		IV	-	IV	IV	IV	
13000		IVv	-	IV	IV	IVv	
13600		IIv	-	IV	IIv	IV	
13800		IIv	-	IV	IIv	IIv	
14150		IIv	-				IIv
14200		IIIv	-	IIIv	IIv	IIv	
14500		IIv	-	IV	IIv	IIv	
16000		IIIv	-	IV	IIv	IIIv	
17000		IVv	IIIv	IIv	IIv	IVv	

## Hoofdstuk 13 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 36-1 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 waterschap zal, mede op basis van de uitkomsten van deze veiligheidsbeoordeling het dijktraject in 2019 aanmelden bij het HWBP om dan in 2021 te kunnen starten met de verkenningfase van het dijkverbeteringstraject.

Een viertal kunstwerken (Stuw Waranda, Oeffeltsebeek, Coupure Maasstraat Cuijk, Coupure Katwijk) scoort op basis van de huidige sluitingsprotocollen aan categorie IV<sub>v</sub> voor Betrouwbaarheid sluiting. Het waterschap is als beheerder voornemens om de sluitingsprotocollen te updaten voor de peildatum van 1 januari 2023. Hierdoor kan het oordeel op het onderdeel BSKW worden aangescherpt, dit aangescherpte oordeel wordt in deze beoordeling aangehouden.

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 evenals in de dijktrajecten 36-2 en 36-3, 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.

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. 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 14 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.