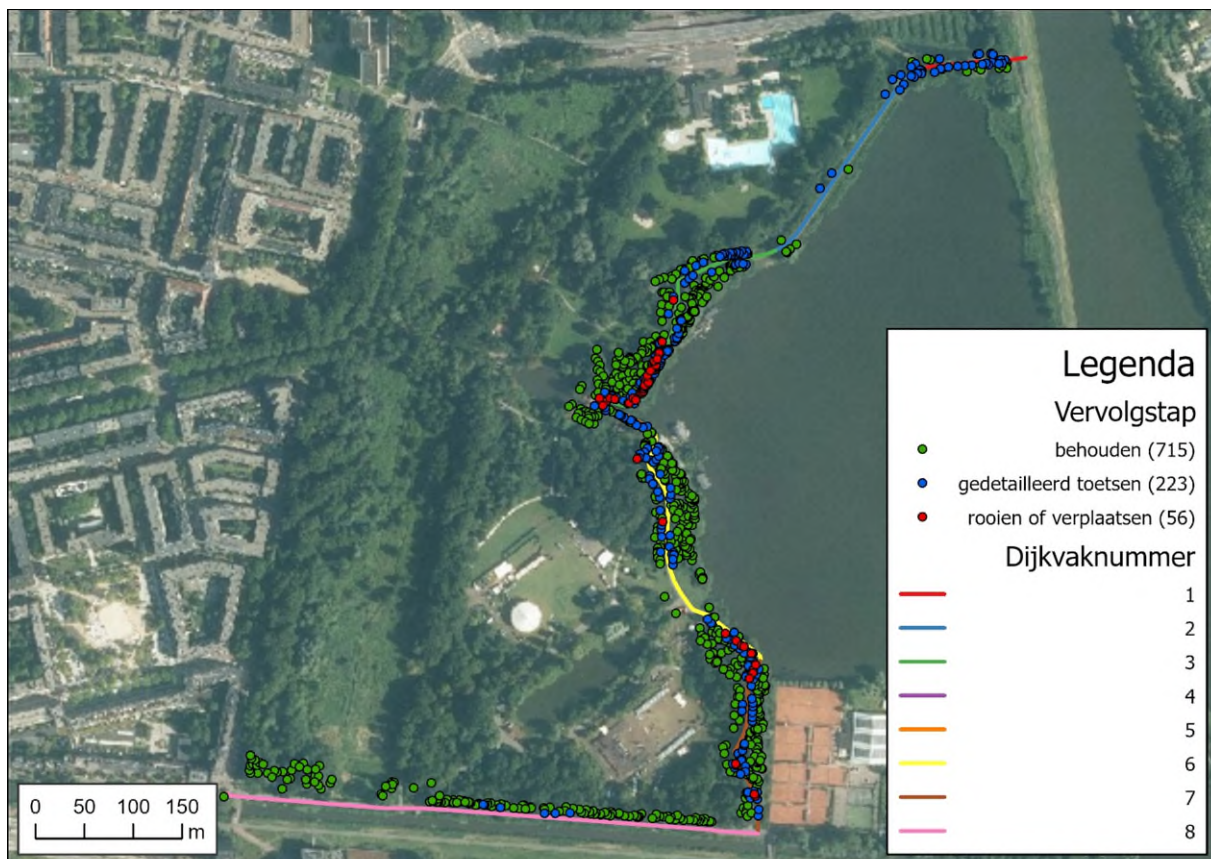


referentinummer 251107-0497183.102-Gedetailleerde Toets Bomen – Hybride Variant v1.0
datum 17 november 2025
aan Waternet – Waterschap Amstel, Gooi en Vecht
projectnummer 0497183.102
project DVB Flevopark
betreft Gedetailleerde Toets Bomen

1. Aanleiding en scope

De regionale kering rondom het Flevopark in Amsterdam moet worden versterkt. In opdracht van Waternet en Waterschap Amstel Gooi en Vecht (AGV) voert Antea Group een beoordeling uit van de bomen voor de geplande dijkversterking. Antea Group is gestart met het toetsen van het Voorkeursalternatief (VKA), de zogenoemde Oevervariant, en vervolgens is ook de Padenvariant beoordeeld (zie eerdere rapportages voor de bijbehorende resultaten). Hierna is er een nieuwe variant ontwikkeld, de Hybride variant. Het leggerlijntracé van deze variant is bij enkel drie dijkvakken (3, 6 en 7) aangepast, waar het een combinatie (hybride) is geworden van de Oever- en Padenvariant. Deze Hybride variant is in overeenstemming met Waternet en de Gemeente Amsterdam tot stand gekomen, met het doel om zo veel mogelijk bomen in het Flevopark te behouden bij het versterken van de kering.

Dit document beschrijft de methode, aanpak en scope van de Gedetailleerde Toets (GT) als onderdeel van de veiligheidsbeoordeling. Onderstaand figuur geeft het gecombineerde toetsresultaat van de Eenvoudige Toets bomen (ET) en de Boom Effect Analyse (BEA). De bomen die als *gedetailleerd toetsen* zijn aangeduid in de Eenvoudige Toets en die de effecten van de ophoging overleven, zoals bepaald in de Boom Effect Analyse worden in deze Gedetailleerde toets beoordeeld. In totaal bestaat de scope van deze toets dus uit 223 bomen.



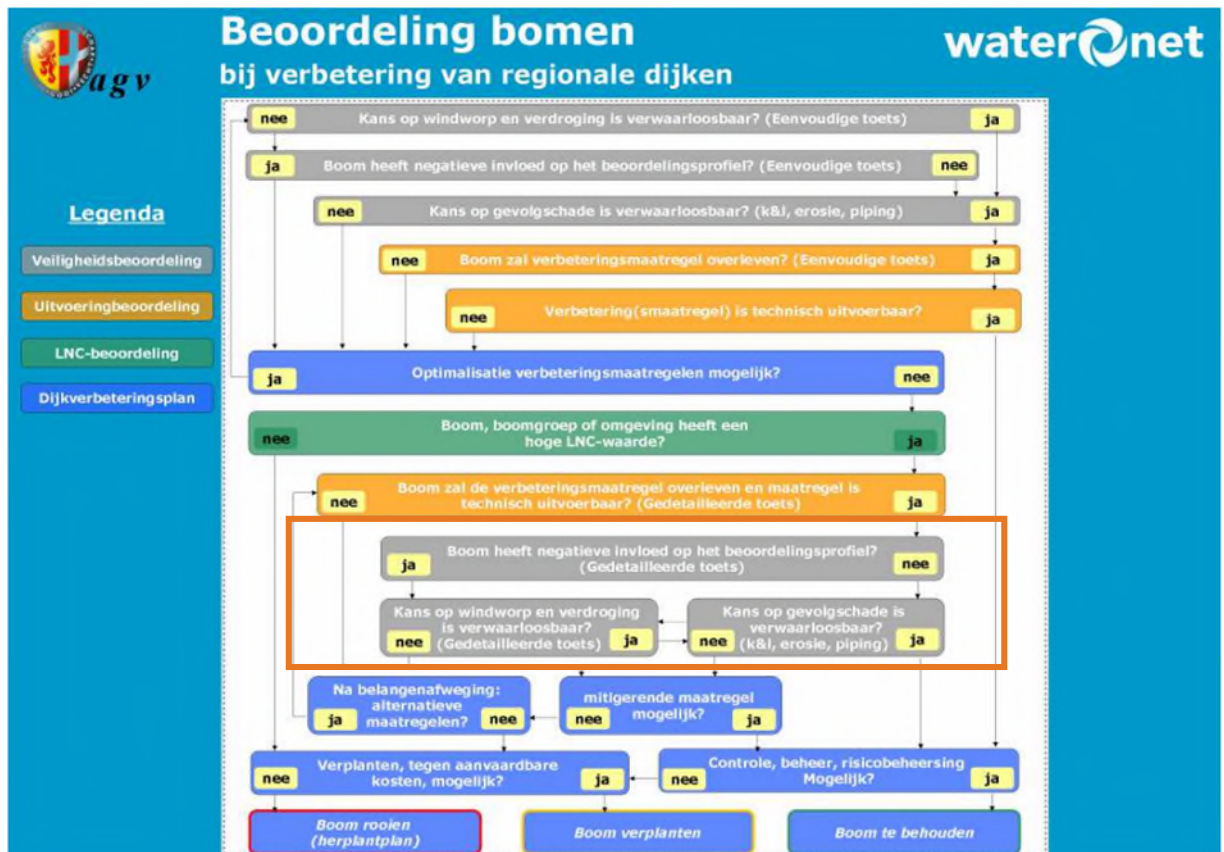
Figuur 1-1: Gecombineerd toetsresultaat Eenvoudige Toets bomen, Boom Effect Analyse en LNC-waarde

2. Aanpak AGV en Waternet

De werkwijze van AGV bij het beoordelen van bomen op een kering bij een versterkingsopgave is vastgelegd in het rapport *Omgaan met bomen bij dijkverbetering* (Waternet, 2023). Hierin is onderstaand stroomschema opgenomen. Er wordt in deze aanpak gekozen voor eerst een aantal eenvoudige **veiligheids**beoordelingen, gevolgd door een aantal eenvoudige **uitvoerings**beoordelingen.

De gedetailleerde beoordeling beschreven in dit document is een toetsing op basis van (geotechnische) kenmerken van bomen en omgeving. Hier wordt eerst bepaald of het risico op optreden van bepaalde faalmechanismen kan worden verwaarloosd.

Zo wordt invulling gegeven aan de gedetailleerde veiligheidsbeoordeling uit onderstaand schema, specifiek de schema's omringt door het oranje kader.



Figuur 2-1: Stroomschema omgaan met bomen bij dijkverbetering (Waternet, 2023)

2.1 Afwijking schema Waternet

Uit bovenstaand stroomschema volgt dat als een boom na de eenvoudige veiligheidsbeoordeling en door de eenvoudige uitvoeringsbeoordeling niet voldoet, de boom alleen verder beoordeeld hoeft te worden als er een hoge LNC-waarde is. Overige bomen die niet meteen voldoen zouden volgens dit schema meteen in naar de onderkant van het schema gaan en uitkomen bij *rooien of verplanten*.

Om toch zoveel mogelijk bomen te behouden is van dit schema af geweken, door het hele gebied aan te merken als een omgeving met een hoge LNC-waarde. Hierdoor worden bomen die niet voldoen aan de eenvoudige veiligheidsbeoordeling maar wel de verbeteringsmaatregelen overleven, gedetailleerd getoetst. Tabel 3 uit de BEA geeft deze afwijking van het toetschema weer. Hierin wordt ook nog een extra uitzondering gemaakt voor individuele bomen met een hoge LNC-waarde.

Anders dan in (Waternet, 2023) beschreven is voor de gedetailleerde beoordeling, is voor de gedetailleerde toets een geotechnische analyse uitgevoerd. Waternet beschrijft als gedetailleerde beoordeling vooral aanvullend veldonderzoek. Denk hierbij aan het laten uitvoeren van trekproeven bij bomen of het doen van veldonderzoek naar de wortelkluif. Onderstaande methode is dus een extra controle voordat er aanvullend veldwerk uitgevoerd moet worden.

3. Gedetailleerde beoordeling op faalmechanismen

Op basis van kenmerken van de boom en de omgeving is in de gedetailleerde toets per faalmechanisme bepaald of het optreden van bepaalde faalmechanismen wel of niet als verwaarloosbaar risico kan worden aangeduid.

De kenmerken om de gedetailleerde beoordeling uit te voeren zijn per boom opgeslagen in een GIS-database. Middels GIS-bewerkingen zijn de kenmerken ingevoerd in de filterregels en vervolgens de bomen getoetst. Indien een boom aan alle toetsingen op relevante faalmechanismen voldoet, wordt een boom als voldoende (v) beoordeeld. Voldoet een boom op één van de faalmechanismen niet, dan volgt een onvoldoende oordeel (o).

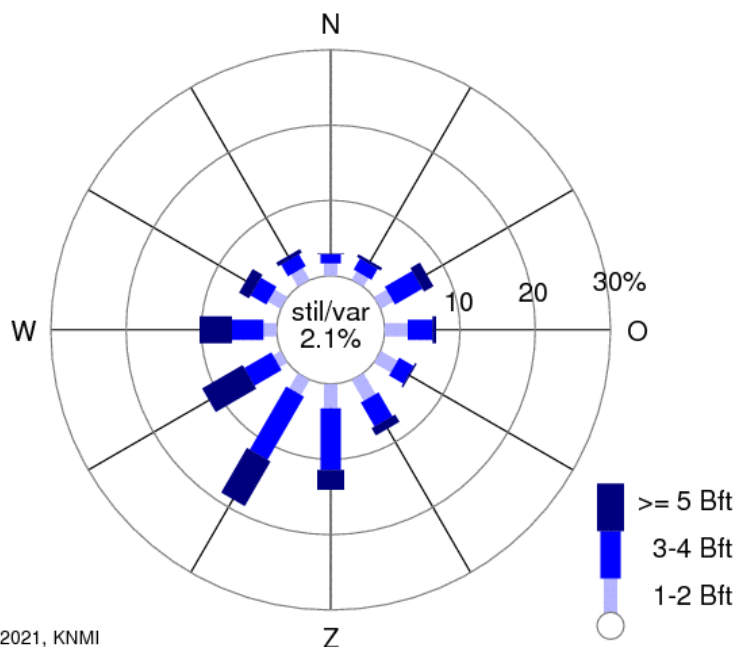
3.1 Maatgevende wind, waterstanden en golven

Onderstaande tabel geeft de waterstand bij het streefpeil, toetspeil en de veiligheidstoeslag. Het verschil tussen het streefpeil en toetspeil is beperkt.

Waterstand	Hoogte
Streefpeil	-0,4 m + NAP
Toetspeil	0,0 m + NAP
Veiligheidstoeslag	0,10 m

De maatgevende windrichting in het gebied is afkomstig uit het zuidwesten. Voor de ligging van het dijktraject betekent dit dat onder maatgevende omstandigheden de golven (grotendeels) van de dijk af bewegen. Golfoverslag en wateroverloop over de dijk is uitgesloten. Dit betekent echter niet dat omwaaien van bomen kan worden uitgesloten.

Windroos Schiphol, klimatologie december

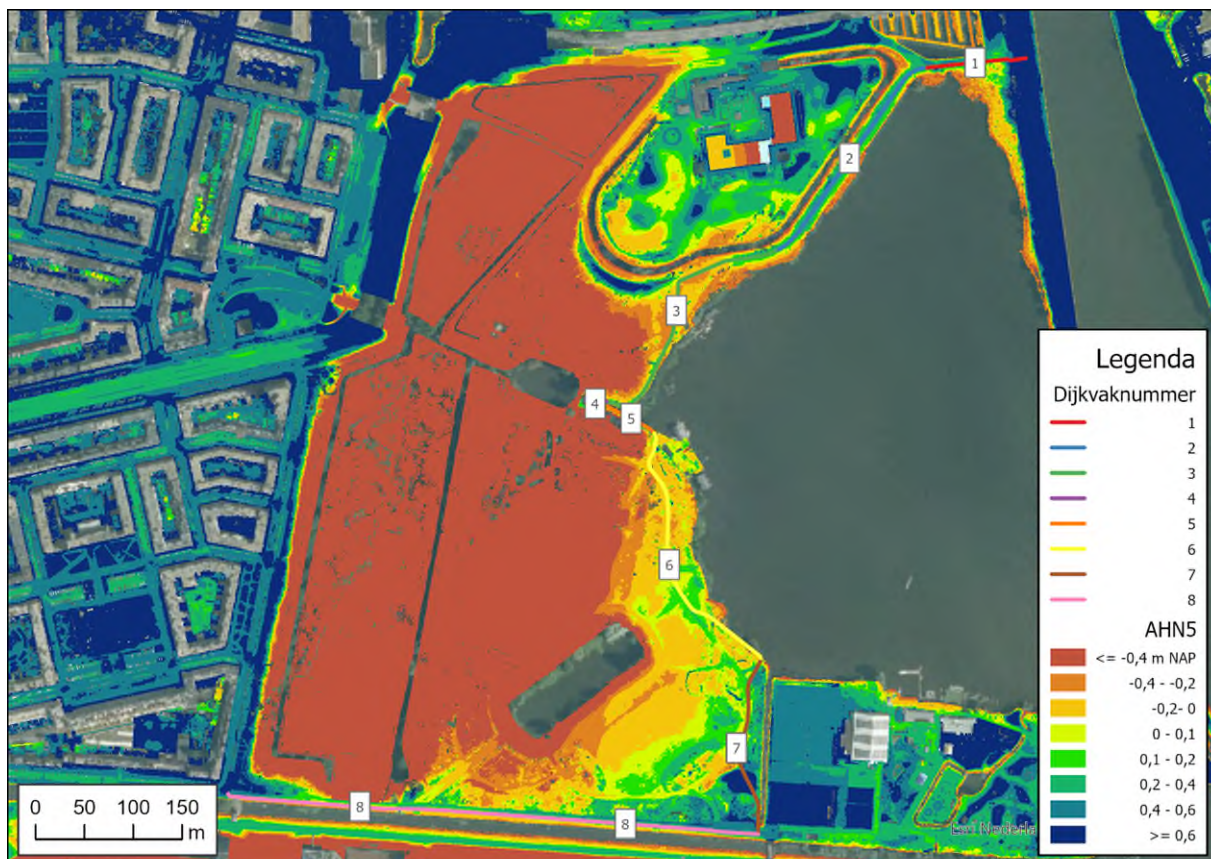


(c) 2021, KNMI
Figuur 3-1: Windroos langdurig gemiddelde. Geeft aan uit welke richting de wind afkomstig is. (KNMI, 2025)

3.2 Lokale verheling

Lokale verheling is als ter plekke van de boom het dijkvak op toets hoogte + toeslag niveau ruim breed genoeg is. Dijkvakken 1, 3, 6 en 7 zijn (deels) lokaal verheeld. Dijkvak 8 is verheeld, behalve ter plaatse van de Joodse Begraafplaats. Een deel van de te toetsen bomen staat op deze dijkvakken. Deze bomen worden goedgekeurd

in de gedetailleerde toets en kunnen uiteindelijk worden behouden. In totaal zijn 14 van de 223 bomen in de scope van de gedetailleerde toets goedgekeurd op lokale verheling. Voor deze bomen volgt geen verdere toets op faalmechanismen.



Figuur 3-2: Hoogteligging dijktraject uit AHNS

3.3 Vervangende kering

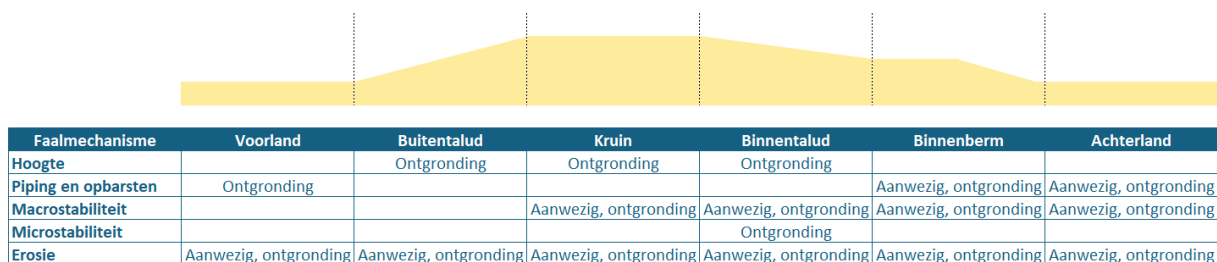
In gevallen waar de kerende functie van een dijkvak wordt overgenomen door een vervangende kering, kunnen bomen langs deze kering worden goedgekeurd op veiligheid. Dit komt doordat de vervangende kering de kerende functie overneemt, waardoor de bomen geen negatieve invloed hebben op de waterveiligheid van de kering. Hierdoor wordt de veiligheid van de kering niet aangetast en kunnen deze bomen behouden blijven zonder verdere toetsing op faalmechanismen.

3.4 Controle op optreden van mogelijke Faalmechanismen

Om de invloed van een boom op de kering te bepalen moet gekeken worden naar de locatie van de boom in het dwarsprofiel. Hiervan is afhankelijk welk faalmechanisme kan optreden. Bomen kunnen de veiligheid van de kering op twee manieren beïnvloeden:

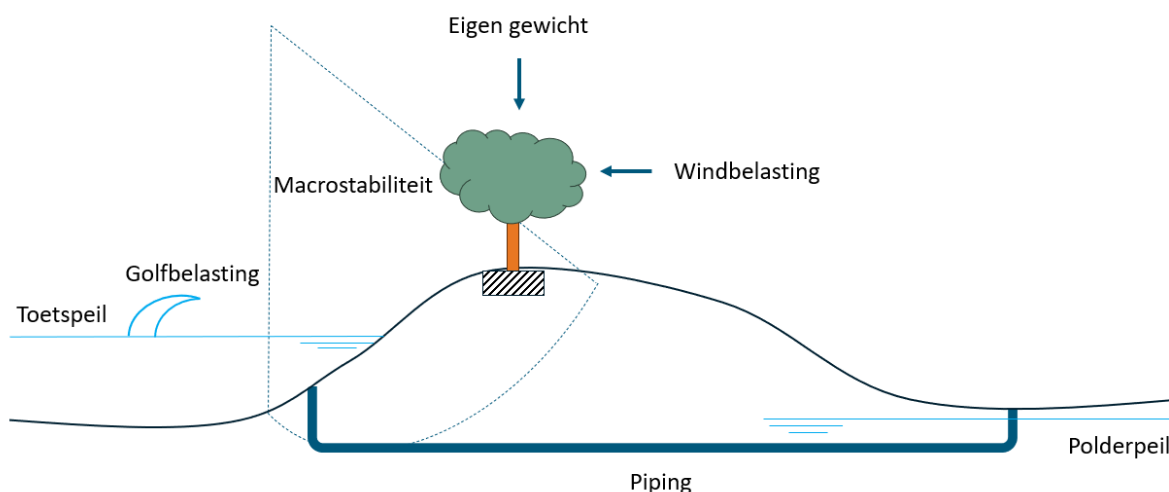
1. Aanwezigheid; het gewicht van de boom inclusief eventuele windbelasting heeft een negatief effect
2. Ontgroning; na falen van de boom heeft de ontstane ontgrondingskuil een negatief effect.

Onderstaand figuur geeft per locatie de faalmechanismen, in de situatie waarin nog niets is uitgesloten.



Figuur 3-3: Faalmechanisme bomen per locatie in dwarsprofiel

Een aantal van de faalmechanismen kan voor het Flevopark worden uitgesloten. Voor elk van de faalmechanismen is hieronder verder beschreven of optreden van het faalmechanisme voor het Flevopark relevant is en hoe de bomen dan getoetst kunnen worden.



Figuur 3-4: Extra belasting ten gevolge van boom

3.4.1 Hoogte

De hoogte van de dijk of kering moet voldoende zijn om wateroverlast te voorkomen. Onvoldoende hoogte kan worden uitgesloten als de kering voldoet aan de vereiste veiligheidsnormen voor het waterpeil en het voorspelde verhoogde waterpeil. Bomen in een slechte conditie kunnen door windworp omwaaien en een ontgrondingskuil veroorzaken, waardoor de hoogte niet meer voldoende is. Echter in de huidige scope van de gedetailleerde toets bomen is hoogte uitgesloten, omdat er altijd voldoende beoordelingsprofiel over is.

3.4.2 Piping en opbarsten

Als aan de buitenzijde van de dijk een significant hogere waterstand is dan aan de binnenzijde van de dijk ontstaat er een drukverschil. Door dat drukverschil stroomt er, indien er een waterdoorlatende grondlaag is, water onder de dijk door. Wanneer er aan de binnenzijde van de dijk geen deklaag is, of als de deklaag niet dik

genoeg is, kan er opbarsten ontstaan. Aanwezige bomen kunnen de deklaag negatief beïnvloeden, door een ontgrondingskuil achter te laten na omwaaien, of door wortels die openingen maken in de deklaag.

Uitsluiting:

- Verheelde dijkvakken.
- Het verval bij toetspeil is zo klein dat er geen drukverschil optreedt
- Er is geen waterdoorlatende laag
- Er is geen deklaag aanwezig waardoor opbarsten niet voorkomt

Waternet heeft aangegeven windbelasting altijd mee te nemen, dus ontgrondingskuil wordt niet uitgesloten. Waternet geeft aan dat piping geen risico is voor dijkvakken 3 t/m 8.

3.4.3 Macrostabieleit

Macrostabieleit beschrijft de stabiliteit van de dijk tegen afglijden. Indien de aandrijvende kracht groter is dan de tegenwerkende kracht, kan een gedeelte van de dijk afglijden. Dit kan worden tegengegaan door te zorgen dat er voldoende weerstand is tegen afglijden of door te zorgen dat de aandrijvende kracht niet groter wordt. Bomen op de dijk voegen een eigen gewicht toe. Vooral bomen op de kruin of in de bovenzijde van het talud zorgen voor een grotere aandrijvende kracht. Bomen aanwezig in het achterland en onderzijde van het talud kunnen na omwaaien een ontgrondingskuil achterlaten, die de tegenwerkende kracht vermindert. Dit kan worden uitgesloten als windbelasting niet optreedt.

Uitsluiting:

- Verheelde dijkvakken
- Vervangende constructie, constructie neemt kerende functie over

Waternet heeft aangegeven windbelasting altijd mee te nemen, dus ontgrondingskuil wordt niet uitgesloten. Waternet heeft aangegeven dat Dijkvak 5 niet als vervangende kering aangemerkt dient te worden.

3.4.4 Microstabieleit

Micro-instabiliteit kan optreden als er langdurig hoog water tegen de dijk aan staat. Het water kan dan van de buitenzijde door de dijk naar de binnenzijde stromen en dijkmetaal meenemen. Dit leidt dan tot opdrukken van de bekleding en uitspoeling van het dijkmetaal. Omgewaaid bomen in het binnentalud laten een ontgrondingskuil achter, waardoor uitspoeling van het dijkmetaal eerder kan optreden.

Uitsluiting:

- Duur van hoogwater is kort, water stroomt niet door de dijk
- Binnentalud van 1:8 of flauwer

Waternet heeft aangegeven windbelasting altijd mee te nemen, dus ontgrondingskuil wordt niet uitgesloten. Waternet heeft aangegeven dat microstabieleit alleen voor dijkvak 6 een risico kan zijn, omdat daar een zandige dijk aanwezig is.

3.4.5 Erosie en ontgrondingskuil

Erosie treedt op wanneer water de dijk en de bekleding aantast en metaal wegspoelt. Ontgrondingskuilen ontstaan wanneer de ondergrond of dijkmetaal wegspoelt. Beide faalmechanismen zijn afhankelijk van de hoeveelheid water dat over de dijk heen spoelt, of de hoogte van de golven die tegen de dijk landen tijdens maatgevende condities.


Uitsluiting:

- Binnentalud; geen erosie als er geen overslag is
- Buitentalud; geen erosie als er geen golfbelasting is tijdens maatgevende condities

Waternet heeft aangegeven windbelasting altijd mee te nemen, dus ontgrondingskuil wordt niet uitgesloten. Waternet heeft aangegeven dat geen erosietoets nodig is voor de locaties kruin, binnentalud, binnenteen en achterland.

3.5 Relevante faalmechanismen

Onderstaande figuur geeft de relevante faalmechanismen voor de kering langs het Flevopark weer. Bomen binnen de scope van de gedetailleerde toets zijn volgens dit schema getoetst.



Faalmechanisme	Voorland	Buitentalud	Kruin	Binnentalud	Binnenberm	Achterland
Hoogte						
Piping en opbarsten *	Ontgroning				Aanwezig, ontgroning	Aanwezig, ontgroning
Macrostabiliteit **			Aanwezig, ontgroning	Aanwezig, ontgroning	Aanwezig, ontgroning	Aanwezig, ontgroning
Microstabiliteit ***				Ontgroning		
Erosie	Aanwezig, ontgroning	Aanwezig, ontgroning	Ontgroning	Ontgroning	Ontgroning	Ontgroning

* Alleen voor dijkvak 1 en 2

** Alleen voor niet lokaal verheelde dijkvakken

*** Alleen voor dijkvak 6

Figuur 3-5: Relevante faalmechanisme voor het Flevopark

3.6 Gegroepeerd toetsen van bomen met dezelfde kenmerken

Voor bomen waarbij de dijk niet lokaal verheeld is of de faalmechanismen niet kunnen worden uitgesloten volgt een stabiliteitstoets (met D-stability) en/of piping-berekening. Voor bomen met vergelijkbare kenmerken is een maatgevende toets uitgevoerd. Voldoet deze maatgevende toets, dan voldoen ook de bomen met minder maatgevende condities. De bomen die niet als voldoende kunnen worden getoetst zijn een veiligheidsrisico voor de dijk.

4. Benodigde gegevens

De toetsing wordt uitgevoerd aan de hand van beschikbare gegevens. De volgende gegevens zijn minimaal benodigd om tot een goed toetsresultaat te komen.

Data	Omschrijving	Bronhouder
Boominventarisatie gegevens	Shape of Excel met; <ul style="list-style-type: none"> ○ Locatie van bomen in X, Y. ○ Boomhoogte ○ Binnen- of buitenzijde 	Waternet / AGV
Leggerlijn voorkeursvariant	Shape (lijnen) met kruinlijn; <ul style="list-style-type: none"> ○ Dijkvakindeling ○ Helling buitentalud ○ Kruinhoogte ○ Kruinbreedte ○ Helling binnentalud 	Waternet / AGV
IPO klasse kering	IPO klasse III	Waternet / AGV
Hoogte maaiveld	Raster met maaiveldhoogtes	AHN5
Hydraulische randvoorwaarden	Shape (polygonen) met: <ul style="list-style-type: none"> ○ Maatgevende toetspeil ○ Streefpeil Windroos met: <ul style="list-style-type: none"> ○ Maatgevende windrichting ○ Windkracht 	Waternet / AGV
Polderpeilen	Shape (polygonen) met: <ul style="list-style-type: none"> ○ Polderpeilen per peilgebied 	Waternet / AGV
Golfhoogten	Shape (punten, lijnen of polygonen) met: <ul style="list-style-type: none"> ○ Per uitvoerpunt golfhoogten ○ Of per dijkvak golfhoogten 	Waternet / AGV

5. Toetsen faalmechanismes

Per dijkvak zijn de maatgevende situatie voor STBI en STPH bepaald. Voor STBI is gekeken naar de ontgrondingskuil bij het omwaaien van een boom en naar de windbelasting op een boom, beide onder maatgevende omstandigheden. De maatgevende boom voor de situatie met **ontgrondingskuil** is de boom het dichtst bij de binnenteen. Daarnaast is gekeken naar hoge bomen met relatief kleine afstanden tot aan de buitenkruinlijn voor maatgevende windbelasting situaties. Voor STPH zijn voor dijkvak 1 en 2 als maatgevende bomen de bomen met de kortste kwelweglengte genomen.

5.1 Uitgangspunten

5.1.1 STBI

Waternet heeft uitgangspunten gedeeld om de gedetailleerde toets NWO bomen mee uit te voeren (Waternet, 2024). In Tabel 5-1 zijn de aan te houden parameters, afhankelijk van de boomlengte weergegeven, zoals deze in de stabiliteitstoets in D-stability zijn aangehouden. De maatgevende bomen worden op basis van lengte naar boven afgerond zodat deze met een van de gecategoriseerde boomlengtes overeenkomt (een boom van 8 m wordt getoetst met de 10 m belastingen).

Conform uitgangspunten van de ontwerprapportage worden per dijkvak de vastgestelde bodemopbouw met bijbehorende parameters aangehouden. Het maaiveldprofiel wordt bepaald aan de hand van een DTM (Digitaal Terrein Model) die voor de keringen van het Flevopark is ingemeten. De diepte van de wortelkluit is een vast gegeven van 1,0 m vanaf het maaiveld, evenals de spreidingshoek van de wortelkluit en het eigengewicht van de boom: 30,0 °.

Tabel 5-1: Uitgangspunten voortkomend uit Leidraad toetsen regionale keringen (STOWA, 2015).

Hoogte boom (m)	Kroon diameter (m)	Aangrijpingspunt Windkracht (m +mv)	Windkracht (kN/m)	Diameter wortelkluit (m)	Eigen gewicht boom (kN/m)
5	4	3	1,3	3	1
10	7	6,5	4,0	4	5
12	8	8	5	4	7
15	10	10	7,2	5	10
18	12,5	12	11	5	15
20	14	13	12,8	5	20
24	16,5	16	14,5	5	34
25	17	17	15	5	40
30	20	20	17	5	80

Er worden 3 scenario's getoetst:

- Ontgrondingskuil aanwezig door omwaaien van de boom d.m.v. ontgraving in model toegevoegd.¹
- Windkracht op de boom met als richting vanaf de buitenzijde van de dijk.
- Windkracht op de boom met als richting vanaf de binnenzijde van de dijk.

Het scenario met de laagste veiligheidsfactor (Safety Factor-SF) is maatgevend voor de desbetreffende boom en moet voldoen aan de norm die in de ontwerprapportage is vastgesteld (SF>1,14 voor Bishop zonder opdrijven).

¹ Wanneer de ontgrondingskuil tot in de kruin gaat, wordt de boom afgekeurd omdat het minimum profiel daarmee niet meer aanwezig is. De afstand van de boom tot de binnenkruinlijn dient daarom groter te zijn dan de wortelkluit straal (1/2 diameter).

5.1.2 STPH

Bij de gedetailleerde toets voor piping is uitgezocht of piping op kan treden met een ontgrondingskuil. Gebaseerd op de Regeling veiligheid primaire waterkeringen (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017) is gekeken naar het risico op piping en hoe dit beoordeeld kan worden.

5.2 Toetsresultaten Stabiliteit Binnenwaarts (STBI)

Afhankelijk van de boomhoogte en afstand tot aan de buitenkruinlijn zijn per dijkvak één of twee maatgevende bomen per dijkvak vastgesteld. De locaties van deze bomen zijn in Figuur 5-1 weergegeven. In Tabel 5-2 zijn de parameters voor de stabiliteitstoets weergegeven per boom. Voor Dijkvak 4 geldt de afwijkende situatie waarbij er in het ontwerp een grondlichaam rondom een bestaande constructie wordt geplaatst. De bomen die nu aanwezig zijn op de locatie van het toekomstig grondlichaam zullen hoogstwaarschijnlijk moeten worden verwijderd ten behoeve van de uitvoering en zijn niet verder getoetst op stabiliteit.



Figuur 5-1: Locaties maatgevende bomen, rode stippen met boomnummer labels.

Tabel 5-2: Parameters voor stabiliteitstoets maatgevende bomen.

Boomnummer (-)	Dijkvak (-)	Hoogte boom (m)	Afgeronde hoogte boom (m)	Aangrijpingspunt Windkracht (m+mv)	Windkracht (kN/m)	Diameter wortelkluit (m)	Eigen gewicht boom (kN/m)
577	1	8	10	6,5	4	4	5
580	2	10	10	6,5	4	4	5
596	2	7	10	6,5	4	4	5
608	3	19	20	13	12,8	5	20
627	3	18	18	12	11	5	15
642	3	14	15	10	7,2	5	10
1025	3	12	12	8	5	4	7
770	3	28	30	20	17	5	80
751	5	8	10	6,5	4	4	5
741	5	24	24	16	14,5	5	24
731	6	20	20	13	12,8	5	20
339	6	15	15	10	7,2	5	10
83	7	22	24	16	14,5	5	34

De resultaten van de stabiliteitsberekeningen zijn in Tabel 5-3 weergegeven. Hieruit volgt dat enkel de bomen die een gedetailleerde toets behoeven in dijkvak 1 voldoen aan de stabiliteitseisen. Daarnaast bevinden zich geen bomen in dijkvak 8 die gedetailleerd dienen worden getoetst.

In dijkvak 2, 3, 5, 6 en 7 zijn de maatgevende bomen afgekeurd op basis van windbelasting en/of door toedoen van een ontgrondingskuil. Uit de berekeningen volgt dat deze een veiligheidsfactor geven die lager is dan benodigd (1,14), een uitzondering geldt voor boom 751

Tabel 5-3: Resultaten stabiliteitstoets maatgevende bomen. Groene arcering geeft aan dat het scenario voldoet aan de veiligheidseisen, rode arcering voldoet niet. De dikgedrukte waarden geven het maatgevende scenario aan per boom.

Boomnummer (-)	Dijkvak (-)	Hoogte boom (m)	SF wind binnenzijde (-)	SF wind buitenzijde (-)	SF kluit gat na omwaaien boom (-)
577	1	8	1,96	1,65	1,16
580	2	10	2,67	3,19	1,16
596	2	7	1,99	3,10	0,59
608	3	19	2,81	0,95	1,96
627	3	18	2,98	1,90	1,90
642	3	14	3,12	2,73	2,27
1025	3	12	2,65	3,85	2,07
770	3	28	0,44	0,72	1,71
751	5	8	1,69	1,52	Voldoet niet*
741	5	24	0,67	0,65	Voldoet niet*
731	6	20	0,80	2,56	1,26
339	6	15	2,11	4,78	1,73

83	7	22	0,50	0,76	1,40
----	---	----	------	------	------

* Gezien de afstand van de boom tot de buitenkruinlijn (resp. 2,03 m en 3,99 m) en de minimale kruinbreedte van 2,5 m, doorsnijden de ontgrondingskuilen van deze bomen (diameters respectievelijk 4 m en 5 m) de waterkering. De afstand van de boom tot de binnenkruinlijn zijn in beide gevallen kleiner dan de straal van de wortelkluit (1/2 diameter). Het minimumprofiel is zodoende niet meer aanwezig. Daarom zijn deze bomen afgekeurd.

Voor de dijkvakken waarin de maatgevende bomen zijn afgekeurd, zijn optimalisaties uitgevoerd om zo veel mogelijk bomen toch voldoende te kunnen beoordelen. Dit is gedaan door te zoeken naar een optimum tussen boomhoogte, de daarbij behorende wortelkluit en de afstand tot de buitenkruinlijn.

Tabel 5-4 geeft per dijkvak weer onder welke criteria de overige bomen in het dijkvak wel voldoen aan de stabiliteitseisen.

Tabel 5-4: criteria voor de overige bomen waarbij die wel voldoen aan de stabiliteitseisen.

Boomnummer (-)	Dijkvak (-)	Van-tot hectometrerang	Hoogte boom (m)	Afstand tot buitenkruinlijn (m)	Criterium waarbij de bomen voldoen aan stabiliteitseisen
596	2	0,2 - 3,5	7	5,94	Te toetsen bomen kunnen niet worden goedgekeurd.
608	3	3,5 - 4,1	19	3,69	Bomen tot 20m lengte die van 5,5 tot 6,5m uit de buitenkruin staan voldoen. Van 6,5 tot 8 m niet. Bomen tot 18m voldoen alleen vanaf 5,5 m.
770	3	4,1-6,2	28	5,41	Bomen tot 18 m hoogte voldoen.
751	5	6,5-7,1	8	2,03	Geen aanvullend criterium. Te toetsen bomen kunnen niet worden goedgekeurd.
741	5	6,5-7,1	24	3,99	
731	6	7,1-9,0	20	7,56	Bomen tot 15 m hoogte voldoen.
83	7	10,1-11,6	22	6,47	Bomen tot 15 m hoogte voldoen.

5.3 Toetsresultaten Piping (STPH)

Voor zowel dijkvak 1 en dijkvak 2 is er een boom geïdentificeerd, waarbij het omvallen en het veroorzaken van een ontgrondingskuil mogelijk piping tot gevolg kan hebben. Voor beide bomen in een piping-risico analyse uitgevoerd. Kenmerken en resultaten van deze analyse zijn in onderstaande tabel opgenomen. Voor zowel de boom in dijkvak 1 als in dijkvak 2 geldt dat na omwaaien er geen risico is op piping door het ontbreken van een ondoorlatende deklaag. Dit wordt hieronder verder toegelicht.

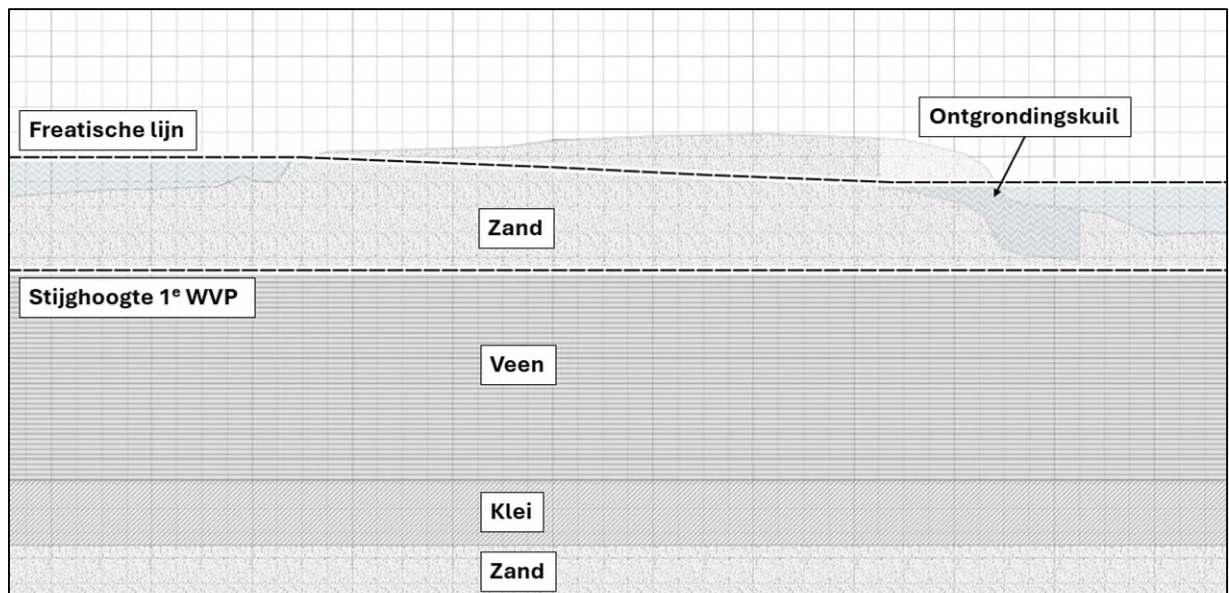
Tabel 5-5: Kenmerken bomen voor piping

Boomnummer (-)	Dijkvak (-)	Toetspeil (m + NAP)	Streefpeil (m + NAP)	Polderpeil (m + NAP)	Dikte deklaag (m)	Kwelweglengte (m)
577	1	0,1	-0,4	-2,15	0	-
580	2	0,1	-0,4	-0,5	0	-

In dijkvak 1 kan het faalmechanisme piping door toedoen van het omwaaien van een boom uit worden gesloten. Zoals in onderstaande afbeelding te zien is, zorgt de ontgrondingskuil er niet voor dat er een verticale grondwaterstroming optreedt door het ontbreken van een deklaag. Door het marginale verval tussen het toetspeil (freatische lijn linkerzijde) en het polderpeil (freatische lijn rechterzijde) zal er een beperkte stroming door de kering optreden, welke deels ook in de ontgrondingskuil uitstroomt. Hier is geen geconcentreerde kwelstroom onder een deklaag mogelijk, waardoor piping uit te sluiten is (Deltares, 2012; Rijkswaterstaat, 2017).

Het uitblijven van een afsluitende deklaag zorgt er echter voor dat er geen verticale stroming bij een uittredepunt zal optreden en dus zal een erosiekanaal onder verticale druk instorten. In deze situatie zou er micro-instabiliteit optreden, echter worden er door het beperkte verval geen stroomsnelheden verwacht die dit faalmechanisme op gang helpen.

Voor dijkvak 2 geldt een vergelijkbare situatie, al is er bij dijkvak 2 wel een deklaag aanwezig. De hoogte van deze deklaag is echter vrijwel gelijk aan het toetspeil (NAP -0,1 vs +0,1), waardoor ook hier geen geconcentreerde kwelstroom is voorzien, laat staan een verticaal uittredepunt. Ook hier wordt het pipingmechanisme daardoor uitgesloten.



Figuur 5-2: Schematische weergave opbouw dwarsprofiel dijkvak 1. Hier is een scenario met een ontgrondingskuil weergegeven samen met de freatische lijn.

5.4 Erosie buitentalud

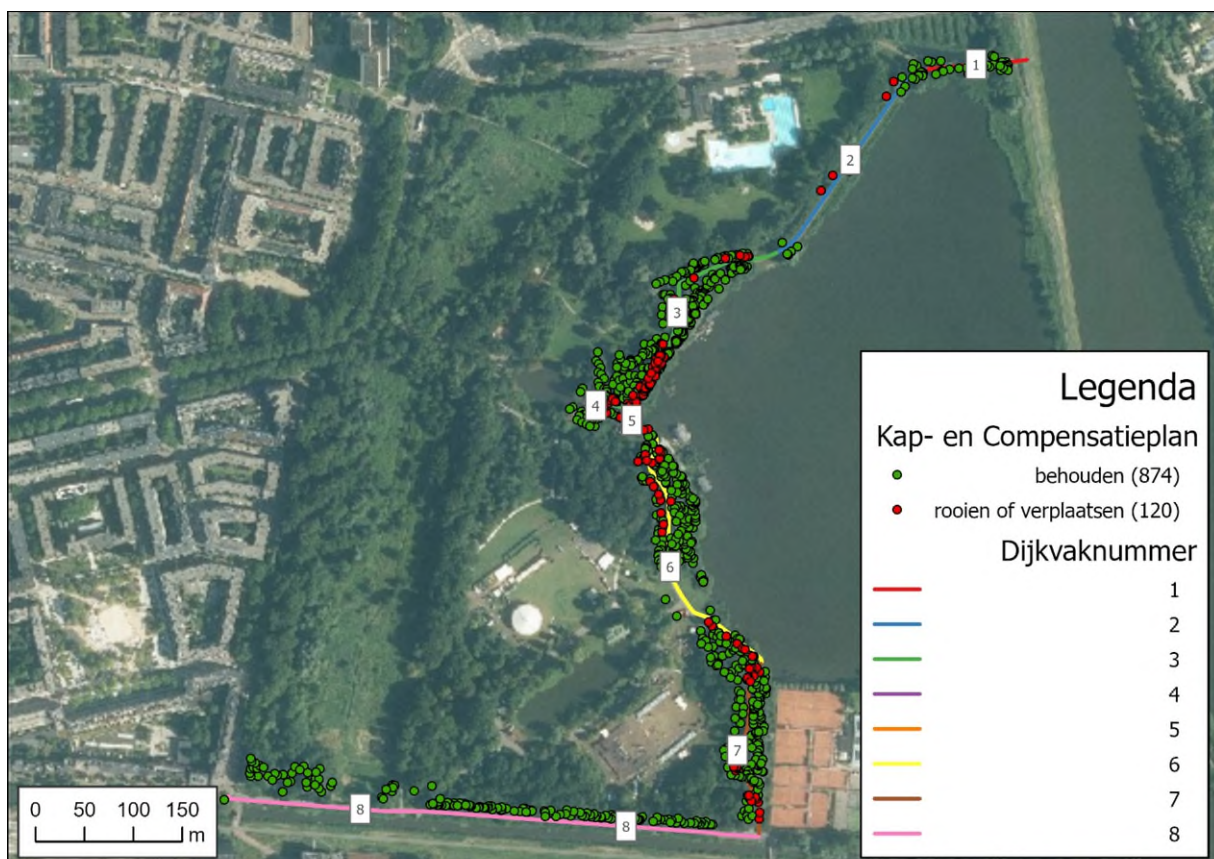
Als er een boom omvalt opent deze een kuil waardoor er geen (gras)bekleding meer aanwezig is. Afhankelijk van de ondergrond en de golfhoogte kan hierdoor een erodeerbare laag bloot komen te liggen die tevens deel is van de kern van de kade. Bij genoeg erosie/uitspoeling kan er een restprofiel overblijven die niet meer als stabiel wordt beoordeeld. Voor dit faalmechanisme bestaan geen rekenregels, zoals deze er wel zijn voor grasbekleding.

De hierboven geschetste situatie komt voor als een boom omwaait en er een oostenwind staat die voor golven over het Nieuwe Diep richting de kering zorgt. Gezonde bomen waaien pas om vanaf windkracht 10, wat boven land erg zeldzaam is (KNMI, sd). Hogere windkrachten worden hier zelden uit het oosten waargenomen (zie windroos in Figuur 3-1) waardoor de kans op dit scenario met golven richting de kering verwaarloosbaar klein is. Gedurende dit scenario zou daarnaast ook een verhoogde waterstand in het Nieuwe Diep moeten optreden wat als niet aannemelijk wordt aangenomen.

Randvoorwaarde is hier dat de bomen gezond zijn en dat de bomen periodiek worden geïnspecteerd. Wanneer de bomen weg worden gehaald vervalt een eventueel risico van het hierboven omschreven scenario, en is meer zekerheid geborgd.

6. Advies

Van de 223 in de Gedetailleerde Toets te toetsen bomen zijn uiteindelijk 64 bomen afgekeurd. Voor de overige 159 bomen geldt dat voor de relevante faalmechanismen, de maatgevende boom voldoet en de boom dus kan blijven behouden. Gecombineerd met de eerdere resultaten uit de ET en de BEA, volgt dat uiteindelijk 120 de categorisering 'rooien of verplaatsen' als eindoordeel krijgen. Dit eindresultaat is weergegeven in Figuur 6-1 en valt tevens te beschouwen in de bij de toets behorende GeoDataBase. Op basis van paragraaf 4.4 van de BEA is een voorbehoud opgenomen, waarin de kwalitatieve gevolgen van de uitvoering van de dijkversterking worden toegelicht. In het kader van de uitvoering zal naar verwachting een nader te bepalen extra aantal bomen alsnog het oordeel 'kappen of compenseren' krijgen.



Figuur 6-1: Resultaat Gedetailleerde Toets

Op basis van deze resultaten worden de volgende vervolgstap geadviseerd:

- Voor de **120** bomen gecategoriseerd met bestemming 'rooien of verplaatsen' wordt geadviseerd een individuele afweging op te stellen. In deze afweging dient te worden meegenomen: 1) Het oordeel van de Gedetailleerde Toets op waterveiligheid; 2) Het resultaat van de Boom Effect Analyse; 3) De LNC-waarde van de betreffende boom; 4) De individuele eigenschappen van de boom, zoals o.a. de locatie en in het bijzonder de restlevensduur van de boom in de huidige autonome situatie zoals vastgesteld in de boominventarisatie. Hieruit volgt een advies over behoud/ beheer/ herplanten/ verplaatsen/ ontwerpaanpassing/ of kap. Deze afweging zal worden gerapporteerd in het nader op te stellen 'kap- & compensatieplan'.

7. Verwijzingen

- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2017). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017; Bijlage III Sterkte en veiligheid.*
- Deltares. (2012). *Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen.*
- KNMI. (2025, Maart 21). *Windrozen van de Nederlandse hoofdstations.* Opgehaald van KNMI.nl: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/grafieken/maand/windrozen>
- KNMI. (sd). *windschaal-van-beaufort.* Opgehaald van www.knmi.nl: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/windschaal-van-beaufort>
- Rijkswaterstaat. (2017). *Schematiseringshandleiding Piping.*
- STOWA. (2015). *Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen - Module bijlagen.*
- Waternet. (2023). *Omgaan met bomen bij dijkverbetering.* Amsterdam: Waternet.
- Waternet. (2024). *Handleiding toetsen NWO bomen - 1.0.*