

Strategische Nota van Uitgangspunten

# STERKE LEKDIJK



HOOGHEEMRAADSCHAP  
DE STICHTSE  
RIJNLANDEN

**Versie 1.2**

**April 2021**



**STERKE  
LEKDIJK**

# Inhoudsopgave

<b>1. Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1. Doel.....	7
1.2. Relatie met andere documenten.....	7
1.3. Status van de nota .....	8
1.4. Versiebeheer.....	8
1.4.1. Bij deze versie.....	8
1.4.2. Proces van actualisatie .....	8
1.5. Detailniveau .....	9
1.6. Leeswijzer .....	9
<b>2. Randvoorwaarden en ambitie</b>	<b>10</b>
2.1. Wettelijk kader .....	10
2.2. Uitgangspunten HWBP .....	11
2.3. Bestuurlijke ambities .....	11
2.3.1. Werken aan veiligheid .....	11
2.3.2. Omgeving en participatie .....	12
2.3.3. Innovatie .....	12
2.3.4. Duurzaamheid.....	12
2.3.5. Programmaplan .....	13
2.4. Ambitie beheerder .....	13
<b>3. Proces dijkversterking</b>	<b>15</b>
3.1. Fasen versterkingsproces.....	15
3.2. Procedures voor dijkversterking .....	15
3.3. Ontwerpproces.....	16
3.4. Systems engineering .....	18
3.5. Procesafspraken met de beheerder .....	20
<b>4. Ontwerphilosofie</b>	<b>21</b>
4.1. Eenheid in het ontwerp .....	21
4.2. Integraal ontwerpen .....	21
4.3. Ontwerpkeuzes .....	21
4.4. Toekomstgericht ontwerp .....	22
4.5. Omgaan met onzekerheden .....	22



4.6.	Innovatie .....	22
4.7.	Duurzaamheid.....	23
<b>5.</b>	<b>Veiligheid, gezondheid en milieu</b>	<b>25</b>
<b>6.</b>	<b>Algemene technische uitgangspunten</b>	<b>26</b>
6.1.	Normering .....	26
6.2.	Faalkansverdeling.....	26
6.3.	Faalkanseisen per faalmechanisme .....	27
6.4.	Bruikbaarheidsgrenstoestand .....	28
6.5.	Ontwerplevensduur.....	29
6.6.	Uitbreidbaarheid .....	29
6.7.	Gevoeligheidsanalyse.....	29
<b>7.</b>	<b>Belastingen</b>	<b>31</b>
7.1.	Hydraulische randvoorwaarden .....	31
7.2.	Overslagdebiet.....	31
7.3.	Val na hoogwater .....	32
7.4.	Waterspanningen.....	32
7.4.1.	Onverzadigde dijk .....	32
7.4.2.	Verzadigde dijk .....	33
7.4.3.	Indringingslengte.....	33
7.4.4.	Peilbuisgegevens of responsanalyse .....	34
7.5.	Overige belastingen .....	34
7.5.1.	Verkeersbelasting .....	34
7.5.2.	Aardbevingen.....	34
7.5.3.	Ijsbelasting .....	34
7.5.4.	Golfbelasting scheepvaart .....	34
7.5.5.	Aanvaringen en drijvende voorwerpen .....	35
<b>8.</b>	<b>Geometrie en ondergrond</b>	<b>36</b>
8.1.	Dijkvakindeling .....	36
8.2.	Bronnen .....	36
8.3.	Grondsoorten .....	36
8.4.	Grondparameters.....	37
8.4.1.	Sterkteparameters macrostabiliteit .....	37
8.4.2.	Grensspanning en POP voor macrostabiliteit.....	38

8.4.3. Parameters EEM voor macrostabiliteit .....	38
8.4.4. Parameters voor piping.....	39
8.4.5. Parameters voor bekleding.....	39
8.5. Bodemdaling en zetting .....	40
<b>9. Macrostabiliteit</b>	<b>41</b>
9.1. Schuifsterktemodel en software.....	41
9.2. Faalpadanalyse.....	41
9.3. Partiele factoren.....	42
9.3.1. Modelfactor .....	42
9.3.2. Materiaalfactor .....	42
9.3.3. Schematiseringsfactor .....	42
9.4. Schematisatie .....	43
9.5. Macrostabiliteit buitenwaarts .....	43
<b>10. Piping</b>	<b>44</b>
10.1. Rekenmodel en software .....	44
10.2. Faalpadanalyse.....	44
10.3. Partiele factoren.....	44
10.4. Schematisatie .....	44
10.4.1. Intredeweerstand voorland .....	44
10.4.2. Waterspanningen en responsfactor.....	45
10.4.3. Uittredepunt .....	45
10.4.4. Overige aspecten.....	45
10.5. Beslisboom piping.....	45
<b>11. Bekledingen</b>	<b>46</b>
11.1. Rekenmodel en software .....	46
11.1.1. Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB).....	46
11.1.2. Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI) .....	46
11.1.3. Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU) .....	46
11.1.4. Steenzetting.....	46
11.1.5. Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU).....	47
11.2. Faalpadanalyse.....	47
11.2.1. GEKB.....	47
11.2.2. GABI .....	47

11.2.3.	GEBU.....	47
11.2.4.	Steenzetting.....	48
11.2.5.	GABU.....	48
11.3.	Schematisatie .....	49
11.3.1.	GEKB.....	49
11.3.2.	GABI.....	49
11.3.3.	GEBU.....	49
11.3.4.	Steenzetting.....	49
11.3.5.	GABU.....	49
<b>12.</b>	<b>Langsconstructie</b>	<b>50</b>
12.1.	Algemene ontwerpaspecten .....	50
12.1.1.	Veiligheidsfilosofie .....	50
12.1.2.	Bodemopbouw.....	50
12.1.3.	Zelfstandig kerende constructie (Type I).....	50
12.1.4.	Stabiliteitsscherm (Type II).....	50
12.1.5.	Corrosie .....	51
12.2.	Rekenmodel en software .....	51
12.3.	Stijfheden .....	51
12.4.	Belastingssituaties .....	51
12.5.	Restprofiel.....	52
12.6.	Proces van berekeningen .....	52
12.7.	Rekenstappen PPL.....	52
<b>13.</b>	<b>Kunstwerken</b>	<b>54</b>
<b>14.</b>	<b>Overige mechanismen</b>	<b>55</b>
14.1.	Microstabiliteit.....	55
14.2.	Voorlanden.....	55
14.3.	NWO's.....	55
<b>15.</b>	<b>Innovaties</b>	<b>56</b>
	<b>Referenties</b>	<b>57</b>

# 1. Inleiding

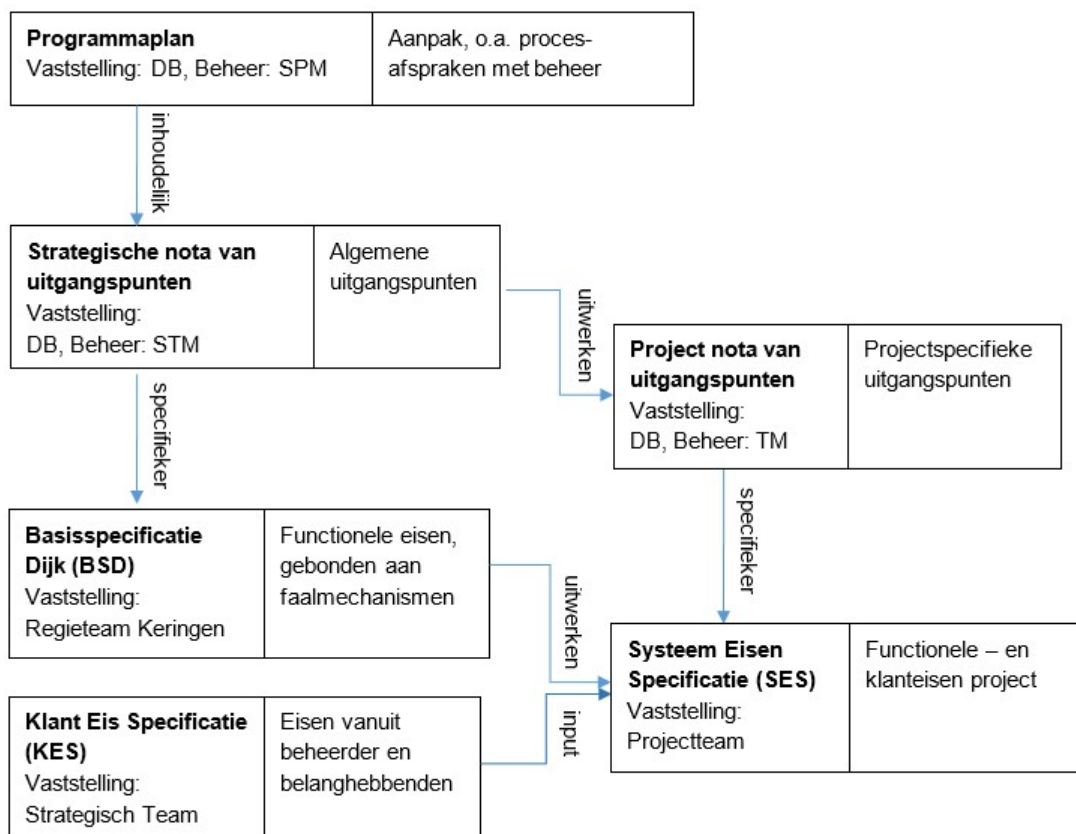
## 1.1. Doel

Deze Nota van Uitgangspunten is een startdocument voor het project Sterke Lekdijk en bevat de uitgangspunten die nodig zijn om te komen tot een goed integraal ontwerp voor de gehele Lekdijk in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR). Hoewel kortweg over de 'Lekdijk' wordt gesproken, betreft het project de Nederrijndijk en de Lekdijk op het deeltraject Amerongen-Schoonhoven. Deze nota betreft een nadere invulling van het Startdocument Project Sterke Lekdijk [1], vastgesteld door het algemeen bestuur op 22-02-2017 en behandelt uitgangspunten op strategisch niveau. Conform de daarbij vastgestelde besluitvormingsmatrix wordt deze nota door het dagelijks bestuur vastgesteld.

Het doel van deze nota is de uitgangspunten voor het ontwerpproces en technische uitgangspunten voor de hele Lekdijk eenduidig vast te leggen, zodat het ontwerp op een consistente, transparante, herleidbare wijze tot stand kan komen en keuzes voor ontwerp en beheer voor alle partijen duidelijk zijn. Deze nota is daarmee bedoeld voor zowel de verkenningsfase als de planuitwerkingsfase. Daar waar wordt afgeweken van deze nota moet dat beargumenteerd worden afgestemd met HDSR. Waarna het voor zover van toepassing is uitgangspunt wordt voor alle deeltrajecten, deels afhankelijk van de fase waarin deze verkeren.

In deze nota staan de bestuurlijke accenten en uitgangspunten van het waterschap voor zijn dijkversterkingsprojecten, de randvoorwaarden vanuit het HWBP en de ambities van de beheersorganisatie.

## 1.2. Relatie met andere documenten



Figuur 1.1. Samenhang strategische nota van uitgangspunten met andere plannen

Voor het project Sterke Lekdijk wordt een programmaplan opgesteld, dat de aanpak voor het gehele project beschrijft. Hierin worden onder andere ook de procesafspraken tussen project en beheerafdeling vastgelegd. In deze notan is het programmaplan uitgewerkt in algemene uitgangspunten en procesbeschrijvingen. Per deelproject worden de uitgangspunten specifiek gemaakt in een projectspecifieke nota van uitgangspunten.

De nota vormt ook het kader voor de specifieke technische en functionele eisen aan het ontwerp, die worden uitgewerkt in de Basisspecificatie Dijk (BSD). De BSD is een product van de beheerafdeling. De eisen per deeltraject worden uitgewerkt in een Systeem Eisen Specificatie (SES), waarin zowel de eisen uit de BSD als de Klanteisen Specificatie (KES) worden verwerkt. De samenhang tussen deze rapporten is in Figuur 1.1 in beeld gebracht.

De eisen en wensen van de beheerder worden ontwikkeld in een parallel spoor, dat wordt getrokken door de assetmanager. De resultaten van dit traject komen op drie plekken terug in bovenstaande documenten:

- Proceseisen → Programmaplan
- Databeheer → Informatie Management Plan
- Inhoudelijke Eisen → Basisspecificatie Dijk

### 1.3. Status van de nota

De nota is opgesteld door het strategisch team van Sterke Lekdijk, met belangrijke bijdragen van de technisch adviseurs en het regieteam keringen. De nota wordt beheerd door de strategisch technisch manager.

Deze nota is een levend document, waarvan de inhoud tijdens de verkenningsfase en planuitwerkingsfase kan worden aangevuld en aangepast aan de nieuwste inzichten en aan ervaringen in het project. Het strategisch team beslist wanneer er aanleiding is om deze wijzigingen te verwerken in een nieuwe versie, die door het dagelijks bestuur wordt vastgesteld.

Kleine of zeer technische aanpassingen zal het strategisch team opnemen in een nieuwe subversie. Voor een deeltraject worden de uitgangspunten 'bevroren' door het vaststellen van de projectspecifieke nota van uitgangspunten. Aan het einde van de verkenningsfase, vóór vaststelling van het voorkeursalternatief, wordt een impactanalyse uitgevoerd waarin de invloed van gewijzigde uitgangspunten inzichtelijk wordt gemaakt en zo nodig wordt verwerkt.

### 1.4. Versiebeheer

#### 1.4.1. Bij deze versie

De voorliggende nota is de opvolger van de versie 1.1 (17-09-2019). De belangrijkste wijzigingen zijn opgenomen in de algemene technische uitgangspunten (zie hoofdstuk 6). In de uitgevoerde beoordelingen in de verkenningen om de ontwerpogave in beeld te krijgen zijn in overleg met het technisch team van HDSR diverse aanpassingen aan de uitgangspunten vastgesteld, die in deze nota zijn overgenomen. Deze nota geldt ook als startdocument voor de planuitwerking. Dit is opgenomen in deze inleiding en in hoofdstuk 3.

#### 1.4.2. Proces van actualisatie

Gaandeweg worden nieuwe inzichten opgedaan die de in deze nota beschreven uitgangspunten kunnen beïnvloeden. Denk aan externe ontwikkeling van fundamentele kennis, reken- en ontwerpprocedures, bijvoorbeeld in het kader van het BOI, Kennis voor Keringen (KvK) en de HWBP Kennis- en Innovatieagenda. Maar ook aan ervaringen die worden opgedaan binnen de projecten van Sterke Lekdijk en ontwikkelde kennis in het Innovatiepartnerschap.

Om deze nota relevant en bruikbaar te houden, evalueert het technisch team Sterke Lekdijk samen met de technisch managers van de projecten halfjaarlijks de inhoud van deze nota. Tijdens de evaluatie wordt besloten welke onderwerpen aanpassing behoeven, en wordt eventueel benodigde



nadere uitwerking geprioriteerd en gepland. Op basis van evaluatieresultaten wordt naar een jaarlijkse actualisatie van deze nota gestreefd. Tussen de evaluatiemomenten wordt een lijst bijgehouden waarop de leden van het technisch team en de technisch managers evaluatiepunten en voorstellen voor aanpassingen kunnen plaatsen. Deze lijst vormt de agenda voor de halfjaarlijkse evaluatie. De lijst staat in DM 1765463.

## 1.5. Detailniveau

Deze strategische nota geldt tot het einde van de planuitwerkingsfase. Het einddoel van de planuitwerkingsfase is het uitvoeringsontwerp. De volgende stappen in het ontwerpproces worden onderscheiden: vaststellen ontwerpogave, voorkeursalternatief (einde verkenningfase), voorkeursvariant (VKV, eerste stap planuitwerking) en definitief ontwerp (DO). Het DO bestaat uit twee delen. De eerste voor vaststellen in het bestuur en de tweede als UOv1 voor de subsidieaanvraag uitvoeringsfase.

- Ontwerpogave, verkenningfase, op basis van de volgende technische criteria:
  - BOI instrumentarium (in ontwikkeling) vastgelegd in uitgangspuntennotitie, o.a. deze notitie;
  - gevoeligheidsanalyse.
- VKA, verkenningfase, op basis van de volgende technische criteria:
  - herbeschouwing criteria ontwerpogave;
  - integrale veiligheid;
  - technische haalbaarheid en uitvoerbaarheid;
  - uitbreidbaarheid;
  - beheer en onderhoud, LCC en levensduur.
- VKV
  - herbeschouwing criteria VKA;
  - betrouwbaarheid (met name bij innovaties);
  - beschouwing NWO's.
- DO
  - herbeschouwing criteria VKV;
  - materiaalgebruik en rekenparameters te gebruiken materialen.

## 1.6. Leeswijzer

In hoofdstuk 1 zijn het doel, de relatie met andere documenten en het detailniveau van deze nota benoemd. Daarna zijn de randvoorwaarden van het HWBP en de ambities van het bestuur en de beheerder in hoofdstuk 2 beschreven. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van het proces van de dijkversterking. Vervolgens is in hoofdstuk 4 de ontwerpfilosofie beschreven. Veiligheid, gezondheid en milieu komen aan bod in hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 bevat de algemene technische uitgangspunten en hoofdstuk 7 behandelt de belastingen. Hoofdstuk 8 gaat in op geometrie en ondergrond. De hoofdstukken 9, 10, en 11 behandelen het faalmechanisme macrostabiliteit, piping en bekledingen. Hoofdstuk 12 geeft een beschrijving van langsconstructies. Hoofdstuk 13 gaat in op kunstwerken. Overige mechanismen zoals microstabiliteit, voorlanden en NWO's zijn in hoofdstuk 14 beschreven. Hoofdstuk 15 bevat ten slotte innovaties.

## 2. Randvoorwaarden en ambitie

---

### 2.1. Wettelijk kader

De dijkversterking moet worden uitgevoerd binnen het geldend wettelijk kader en daarvan afgeleide richtlijnen. Belangrijke wetten voor de dijkversterking zijn de Waterwet en de Wet milieubeheer. In de Waterwet is de veiligheidsnorm vastgelegd waaraan de waterkeringen moeten voldoen. De Wet milieubeheer geeft aan hoe milieueffecten van de versterking moeten worden beoordeeld via de milieueffectrapportage.

Een belangrijke ontwikkeling is de omgevingswet, die naar verwachting binnen een paar jaar in werking treedt. In deze wet komen de procedures op grond van de Waterwet en de Wet milieubeheer samen in een projectbesluit procedure. Andere wetten zoals de Wet ruimtelijke ordening en Wet natuurbescherming geven de raakvlakken met beheer(grenzen) van gemeenten en het Rijk aan. In paragraaf 3.2 staat aangegeven hoe deze wetten eisen stellen aan de te volgen procedures.

In de Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier [2] is een belangrijk uitgangspunt over de rivierafvoerverdeling vastgelegd, waarin de Lek ontzien wordt bij afvoeren boven 16.000 m<sup>3</sup>/s bij Lobith. Deze is bekrachtigd in het Nationaal Waterplan 2016-2021. In 2019 is een nieuwe beleidsbeslissing uitgewerkt. Mogelijk wordt het uitgangspunt daar later op aangepast. Eventuele gevolgen worden eerder al in beeld gebracht in een gevoeligheidsanalyse.

Een belangrijke richtlijn vormt de Beleidslijn Grote Rivieren [3]. Deze beleidslijn heeft als doelstelling de beschikbare afvoer- en bergingscapaciteit van het rivierbed te behouden en ontwikkelingen tegen te gaan die de mogelijkheid tot rivierverruiming door verbreding en verlaging van het rivierbed nu en in de toekomst feitelijk onmogelijk maken. Voor de dijkversterkingswerken wordt daarvoor verwezen naar het Rivierkundig Beoordelingskader voor Ingrepen in de Grote Rivieren [4].

Het rapport Mogelijke Gevolgen van Versnelde Zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma [5] bevat de resultaten van een eerste verkenning naar de gevolgen van een mogelijk (veel) snellere stijging van de zeespiegel dan tot dan toe was aangenomen in het Deltaprogramma. De huidige klimaatscenario's gaan uit van een zeespiegelstijging met maximaal 0,4 m in 2050 en maximaal 1,0 m in 2100 (ten opzichte van 1995). Naar verwachting in 2021 zal het KNMI de scenario's actualiseren, waarbij de inzichten over mogelijke versnelde zeespiegelstijging worden meegenomen.

In een aantal 'projecties' geeft het KNMI een vooruitblik. Tot 2050 wijken deze weinig af van het maximum scenario van het Deltaprogramma. Na 2050 nemen zowel de stijging van de zeespiegel als de onzekerheidsmarge sterk toe in deze projecties. Dan zal ook de sluitfrequentie van de stormvloedkeringen toenemen, met als gevolg een toenemende kans op het gelijktijdig optreden van sluiting van de kering en hoge rivierafvoer.

Hierdoor nemen de belastingen op de waterkeringen in het benedenrivierengebied toe in hoogte, duur en frequentie. Wat het effect is op de Lekdijk (met name het gedeelte Schoonhoven-Nieuwegein) is nog niet uitgewerkt. In het algemeen kan gesteld worden, dat als gevolg van een snellere zeespiegelstijging hogere waterstanden vaker zullen voorkomen. De levensduur van de waterkering zal daardoor vooral ten westen van Nieuwegein afnemen. Meer bovenstrooms zal er ook effect merkbaar zijn, maar in mindere mate. Een sterke toename van de zeespiegelstijging zal ook leiden tot een discussie over de strategie voor de Rijnmond. Bij een hoge sluitfrequentie zal opnieuw worden afgewogen of de stormvloedkeringen beter kunnen worden vervangen door dichte keringen. Dit zou grote invloed hebben op de belasting van de Lekdijk. Of deze discussie wordt gevoerd, zal pas blijken als de nieuwe KNMI-scenario's beschikbaar zijn.

De onzekerheid over de klimaatscenario's en de afvoerverdeling kan het aantrekkelijk maken om (ook) oplossingen te beschouwen die gebaseerd zijn op adaptief versterken met een kortere levensduur, dat wil zeggen een scenario met een ontwerphorizon tot bijvoorbeeld 2050. Paragraaf 4.5 gaat hier nader op in.

## 2.2. Uitgangspunten HWBP

Door alle partijen die participeren in het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) is een ambitie afgesproken voor de uitvoering daarvan. Vanwege de grote omvang en het beschikbare budget, heeft het HWBP het tempo van de dijkversterkingen verhoogd van 26 kilometer per jaar naar 50 kilometer per jaar. Daarnaast heeft het HWBP de ambitie om de kosten per kilometer dijkversterking te verlagen van 10 miljoen euro per kilometer<sup>1</sup> naar 6 miljoen euro per kilometer. Volgens het HWBP zijn deze doelen realistisch en haalbaar door risico's te beheersen en kansen te verzilveren door de inzet van kennis en innovaties. Om dit te bereiken volgen HWBP-projecten de MIRT- werkwijze (deze is uitgewerkt in paragraaf 3.1) en zijn randvoorwaarden opgenomen in de financieringsregeling.

Voor het beperken van de scope hanteert het HWBP de uitgangspunten dat:

- alleen de kosten van maatregelen om de primaire waterkering weer aan de veiligheidsnorm te laten voldoen en de ruimtelijke inpassing daarvan, voor subsidie in aanmerking komen;
- de totale kosten van een primaire kering gedurende de gehele levensduur worden geminimaliseerd; dit moet worden aangetoond met een levenscyclusanalyse.

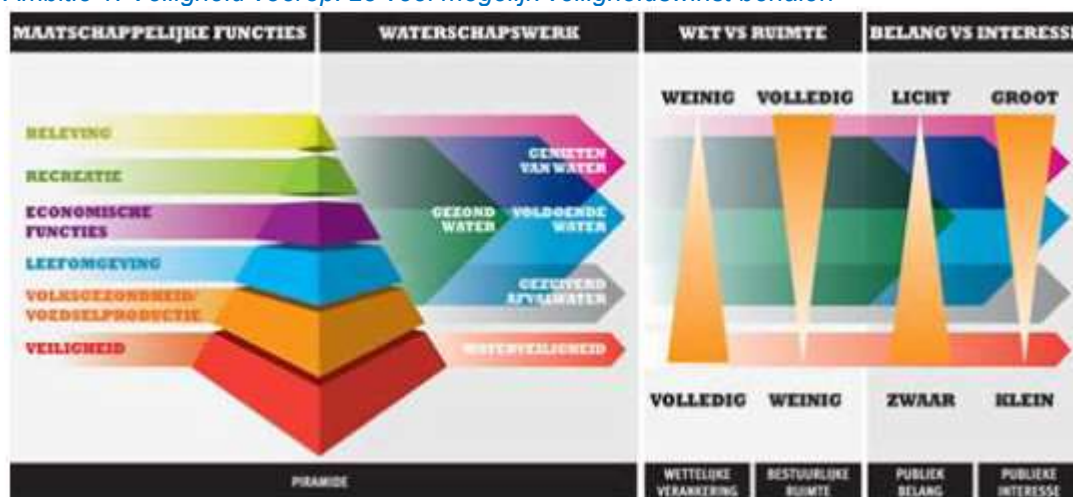
In het kader van het HWBP zijn door Rijkswaterstaat en de Unie van Waterschappen afspraken gemaakt over de effecten van buitendijkse dijkversterking op het rivierbeheer. De redeneerlijn buitendijks versterken gaat uit van een zo gering mogelijke waterstandsverhoging of afname van het waterbergend vermogen, alsmede het compenseren van de resterende, onvermijdbare waterstandseffecten. De redeneerlijn wordt betrokken bij de afweging tussen oplossingen.

## 2.3. Bestuurlijke ambities

Het waterschap heeft in februari 2017 bij de start van het project Sterke Lekdijk zes richtinggevende ambities vastgelegd voor de versterking van de Lekdijk. Deze ambities gaan over de volgende vier thema's: (1) werken aan veiligheid, (2) omgeving en participatie, (3) innovatie, en (4) duurzaamheid.

### 2.3.1. Werken aan veiligheid

*Ambitie 1. Veiligheid voorop: zo veel mogelijk veiligheidswinst behalen*



Figuur 2.1. Piramide waterbeheerplan

Het doel van een dijkversterking is Nederland veiligstellen tegen een overstroming. Alle andere belangen en wensen zijn ondergeschikt aan veiligheid: het is de basis van de maatschappelijke functies waarvoor wij ons waterschapswerk uitvoeren, zie Figuur 2.1. Andere belangen mogen nooit het benodigde veiligheidsniveau verminderen of in gevaar brengen.

<sup>1</sup> Voor Sterke Lekdijk liggen de geschatte kosten per kilometer op circa 7 miljoen bij aanvang van het project.

### *Ambitie 2. Tempo: voortvarend maar niet overhaast*

De nieuwe Waterwet bepaalt dat per 2050 alle primaire keringen in Nederland aan de gestelde normen dienen te voldoen. Gezien het belang van de Lekdijk voor een groot gebied nemen we een korter tijdsbestek. Dit is in lijn met de richtlijn van het HWBP, waar op basis van urgentie projecten worden gerangschikt. De Nederrijn- en Lekdijk staan hoog in deze lijst, vooral vanwege de grote schade die mogelijk kan ontstaan bij een overstroming.

Tegelijk is het belangrijk om zorgvuldig en weloverwogen de beste oplossing te vinden, samen met belanghebbenden. Ook is het belangrijk dat de organisatie projecten efficiënt en goed beheerst kan uitvoeren. Het doel om snel de Lekdijk weer aan de norm te laten voldoen is zeer belangrijk, maar niet ten koste van alles.

### 2.3.2. Omgeving en participatie

#### *Ambitie 3. Zo veel mogelijk maatschappelijke meerwaarde creëren*

Bij de dijkversterking, naast de veiligheidsopgave dienen de gebieds- en inpassingsopgave te worden beschouwd. Een inspanning wordt gedaan om zo veel mogelijk extra (ruimtelijke) kwaliteit te creëren. Hiervoor worden omgevingspartijen actief uitgenodigd om zo veel mogelijk meekoppelkansen te realiseren in, door en met de omgeving. Daarbij moet aandacht worden besteed voor de financiële kaders van het project.

De inzet van een kwaliteitsteam (team omgevingskwaliteit) wordt gebruikt als middel om de landschappelijke inpassing en vormgeving te borgen en waar mogelijk te vergroten. Dit team zal gedurende de looptijd van het project adviseren.

#### *Ambitie 4. Vanaf de start van projecten samenwerken met bewoners en andere belanghebbenden, vanuit de overtuiging dat dit leidt tot betere en breed gedragen oplossingen*

Bij de dijkversterking worden partijen uitgenodigd mee te werken om zoveel mogelijk extra (ruimtelijke) kwaliteit te creëren. Dit is vanuit de visie dat de dijk van ons allemaal is.

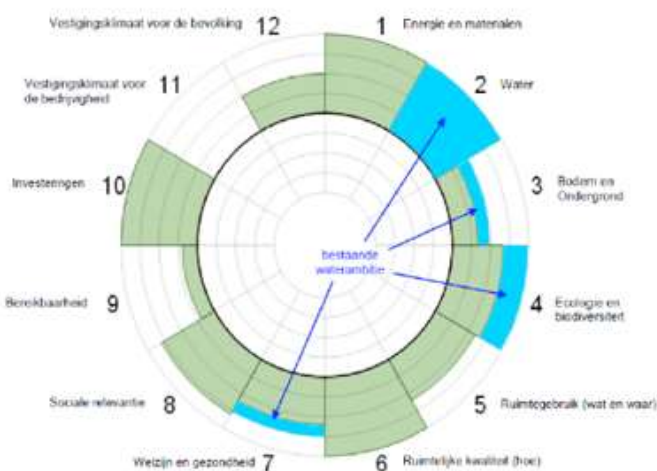
### 2.3.3. Innovatie

#### *Ambitie 5. We creëren in hoge mate ruimte voor innovatie en ontwikkeling*

Bij de dijkversterking worden er in hoge mate ruimte voor innovatie en ontwikkeling van nieuwe technieken gecreëerd. Innovatie is de motor tot versterking. Vernieuwing is geen doel op zich, maar soms zijn bestaande oplossingen niet toereikend (genoeg) of kan innovatie leiden tot meer efficiency.

### 2.3.4. Duurzaamheid

#### *Ambitie 6. Het waterschap heeft hoge duurzaamheidsambities*



#### Hoge ambities:

1. Energie en materialen
4. Ecologie en biodiversiteit
5. Ruimtegebruik (wat en waar)
6. Ruimtelijke kwaliteit (hoe)
8. Sociale relevantie
10. Investerings

#### Middelhoge ambities:

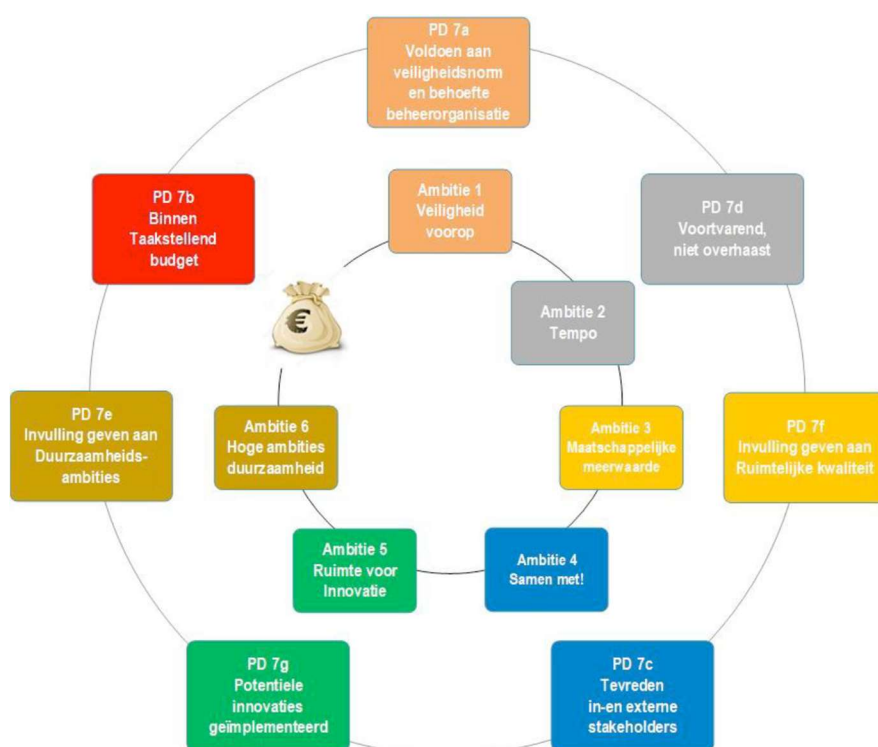
7. Welzijn en gezondheid
12. Vestigingsklimaat voor bevolking

Figuur 2.2. Ambities duurzaamheid van HDSR

In april 2017 heeft het bestuur duurzaamheidsambities vastgelegd in de Duurzaamheidsagenda. Het waterschap wil niet afwentelen naar anderen, straks of elders. De focus van het waterschap ligt op het gebied van energie, d.w.z. energiebesparing, het opwekken van duurzame energie en het terugdringen van CO<sub>2</sub>-emissies) en op het toepassen van de Aanpak Duurzaam GWW ([www.duurzaamgww.nl](http://www.duurzaamgww.nl)). Het doel is om in een zo vroeg mogelijke fase van een project onderwerpen als energiebesparing, leefbaarheid en beperking van materialen- en grondstoffenverbruik mee te nemen in projecten. Het waterschap richt zich daarbij op de onderwerpen, zie Figuur 2.2.

### 2.3.5. Programmaplan

Het programmaplan beschrijft de visie, strategie en aanpak van de Sterke Lekdijk. In het Programmaplan Sterke Lekdijk [6] zijn de bestuurlijke ambities uitgewerkt in een zevental programmadoelstellingen voor de dijkversterkingsopgave van de Sterke Lekdijk, zoals aangegeven in . Dit is uitgewerkt in figuur xx



Figuur 2.3. Ambities en programmadoelstellingen van de Sterke Lekdijk

## 2.4. Ambitie beheerder

Omdat keuzes die in de verkenning al zijn gemaakt impact kunnen hebben op beheer, heeft ook de beheerorganisatie haar specifieke ambities neergelegd voor de Sterke Lekdijk. Dit zijn:

- waterveiligheid staat altijd voorop: gedurende het project en in de toekomst.
- veilige dijk die veilig te houden is in de toekomst: een volgende versterking mag geen belemmeringen ondervinden van de huidige versterking. Hierbij dient de volledige levenscyclus van de dijk beschouwd te worden.
- een goed te beheren en te onderhouden dijk: voor zo laag mogelijke maatschappelijke kosten gedurende de hele levensduur.
- goede communicatie met belanghebbenden: gericht op een blijvend constructieve relatie met belanghebbenden in de toekomst.
- continue overdracht: tussen de projectorganisatie en de beheerorganisatie. Dit kan worden gedaan door voortdurende betrokkenheid van de assetmanager, en door data en informatie continu onder te brengen binnen de reguliere beheersystemen.
- realisatie van het project in nauwe samenwerking met de beheerorganisatie: alle interne gebruikers van de dijk zijn betrokken bij het project.



- eenduidige communicatie: de projectorganisatie en de beheerorganisatie dragen dezelfde boodschap en beelden uit.
- biodiversiteit bevorderend beheer als uitgangspunt: het project gaat uit van kansen voor beheer dat de biodiversiteit bevordert conform de Motie van het Algemeen Bestuur [7].

## 3. Proces dijkversterking

### 3.1. Fasen versterkingsproces

In projecten die deel uitmaken van het HWBP wordt de MIRT-werkwijze gehanteerd, conform de spelregels van het HWBP. Dat betekent dat onderscheid gemaakt wordt in vijf fasen, zoals opgenomen in Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Fasen versterkingsproces

Nr.	Fasen	Resultaat
1	Initiatief	Plan van Aanpak
2	Verkenning	Keuze Voorkeursalternatief
3	Planuitwerking	Vaststelling Projectplan
4	Realisatie	Oplevering en Overdracht Dijk
5	Beheer	

### 3.2. Procedures voor dijkversterking

De procedure voor de dijkversterking kent twee parallelle besluitvormingsprocedures: de lijn volgens de Waterwet en de lijn van de milieueffectrapportage (MER). Daarnaast moeten andere procedures worden gevolgd om (delen van) het werk mogelijk te maken. Hierop wordt hieronder verder ingegaan.

Voor de MER wordt één Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD) opgesteld voor de gehele Lekdijk. De NRD is de formele aankondiging van het project en beschrijft welke milieuaspecten in de MER worden beoordeeld en op welke wijze. Per deeltraject vindt in de verkenningsfase besluitvorming over het voorkeursalternatief plaats door het dagelijks en algemeen bestuur van het waterschap. Indien het voorkeursalternatief de verzilpering van één of meer meekoppelkansen bevat, vindt in deze deelfase ook besluitvorming plaats bij de initiatiefnemers van die meekoppelkansen over de financiering en verdere uitwerking ervan. De besluitvorming in het algemeen bestuur is openbaar.

In de planuitwerkingsfase wordt het voorkeursalternatief uitgewerkt tot een Projectplan Waterwet. Gelijktijdig worden de milieueffecten uitgewerkt in een Milieu Effect Rapport. Besluitvorming over het Projectplan Waterwet vindt plaats in het dagelijks en algemeen bestuur van het waterschap. De betrokken provincie(s) besluiten als bevoegd gezag over het Milieu Effect Rapport. Beide procedures worden parallel doorlopen en zijn openbaar.

Tabel 3.2. Publiekrechtelijke procedures voor dijkversterking

Procedures	Wettelijk kader	Bevoegd gezag	Bijzonderheden
Projectplan procedure	Waterwet	Provincie Utrecht en Zuid-Holland	Deze drie procedures komen onder de omgevingswet samen in een projectbesluit procedure. Eventuele planologische wijzigingen zijn ook onderdeel van het projectbesluit met de gemeente als adviserend orgaan.
MER-procedure	Wet milieubeheer		
Bestemmingsplan procedure	Wet ruimtelijke ordening	Gemeenten	
Onteigeningsprocedure (indien nodig)	Onteigeningswet	Ministerie van I&M	
Gedoogplichtprocedure	Waterwet	HDSR	Wanneer op minnelijke wijze de benodigde gronden niet ter beschikking komen en onteigening niet aan de order is.

In Tabel 3.2 is een overzicht gegeven van andere procedures die mogelijk doorlopen moeten worden. Tijdens de uitwerking kan blijken, dat nog andere vergunningen nodig zijn, afhankelijk van de specifieke activiteiten. Over het algemeen is niet de verkenning maar de planuitwerking de fase waarin deze procedures worden doorlopen. In de verkenningsfase wordt de basis van de MER voorgelegd en de procedure formeel opgestart. In Tabel 3.3 zijn voor de dijkversterking hoofdvergunningen inclusief eventuele bijzonderheden of ontwikkelingen die spelen opgenomen.

Tabel 3.3. Hoofdvergunningen voor dijkversterking

Hoofdvergunningen	Wettelijk kader	Bevoegd gezag	Bijzonderheden
Omgevingsvergunning	WABO	Gemeenten	Voor o.a. uitvoeren werk, bouwen, kappen, slopen, milieuactiviteit
Nb-wet vergunning/ontheffing flora & faunawetgeving	Natuurbeschermingswet	Provincie Utrecht en Zuid Holland	Sinds 01-01-2017 zijn Natuur-beschermingswet 1998, Flora- en faunawet en Boswet samengevoegd in wet natuurbescherming. Projectmatige Aanpak Stikstof (PAS) van toepassing bij N2000 gebieden.
Monumentenvergunning	Monumentenwet	Gemeenten	
Ontgrondingsvergunning of melding	Ontgrondingenwet	Provincie Utrecht en Zuid Holland	
Saneringsbeschikking of BUS-melding	Wet bodembescherming, Besluit uniforme saneringen	Provincie Utrecht en Zuid Holland	Nog onduidelijk of relevant, nader kwalitatief bodemonderzoek nog uit te voeren
Watervergunning buitendijkse versterking	Waterbesluit	Rijkswaterstaat Oost-Nederland	
Niet gesprongen explosieven	Arbeidsomstandighedenwet, Bestemmingsplan, Gemeentewet	Gemeenten	

### 3.3. Ontwerpproces

Het doel van de verkenningsfase is om tot een breed gedragen voorkeursalternatief te komen dat aantoonbaar maakbaar, goed te beheren alsmede maatschappelijk, juridisch en financieel haalbaar is. Het ontwerp is uitgewerkt tot het detailniveau dat benodigd is om van de belanghebbenden draagvlak te krijgen op de voorgestelde voorkeursoplossing en het vast te stellen ruimtebeslag.

#### *Eisen aan het integrale proces*

Om tot een breed gedragen integraal voorkeursalternatief te komen, wordt het integrale ontwerpproces vorm gegeven volgens vijf principes: inspiratie, iteratie, interactie, integraliteit en inzichtelijkheid.



Het ontwerpproces heeft inspiratie en creativiteit nodig. Daarom bestaat het projectteam uit creërende mensen met een visie: landschapsarchitecten, ontwerpers en ingenieurs die gebruik maken van de ideeën van bewoners en lokale ondernemers, deskundigen en belangengroepen.



Het ontwerpproces is spiraalvormig. Er zijn diverse iteraties nodig om alle informatie te verzamelen, te verwerken tot een voorstel of idee, te toetsen op belangen en het idee aan te passen of uit te breiden. De participatie van publieke, professionele en particuliere belanghebbenden maakt deel uit van deze iteraties.



Participatie van belanghebbenden is de derde noodzakelijke eis aan het ontwerpproces: er moet sprake zijn van interactie met de omgeving. Een integraal ontwerp is een resultaat van vele interacties tussen ontwerpers, deskundigen en belanghebbenden.



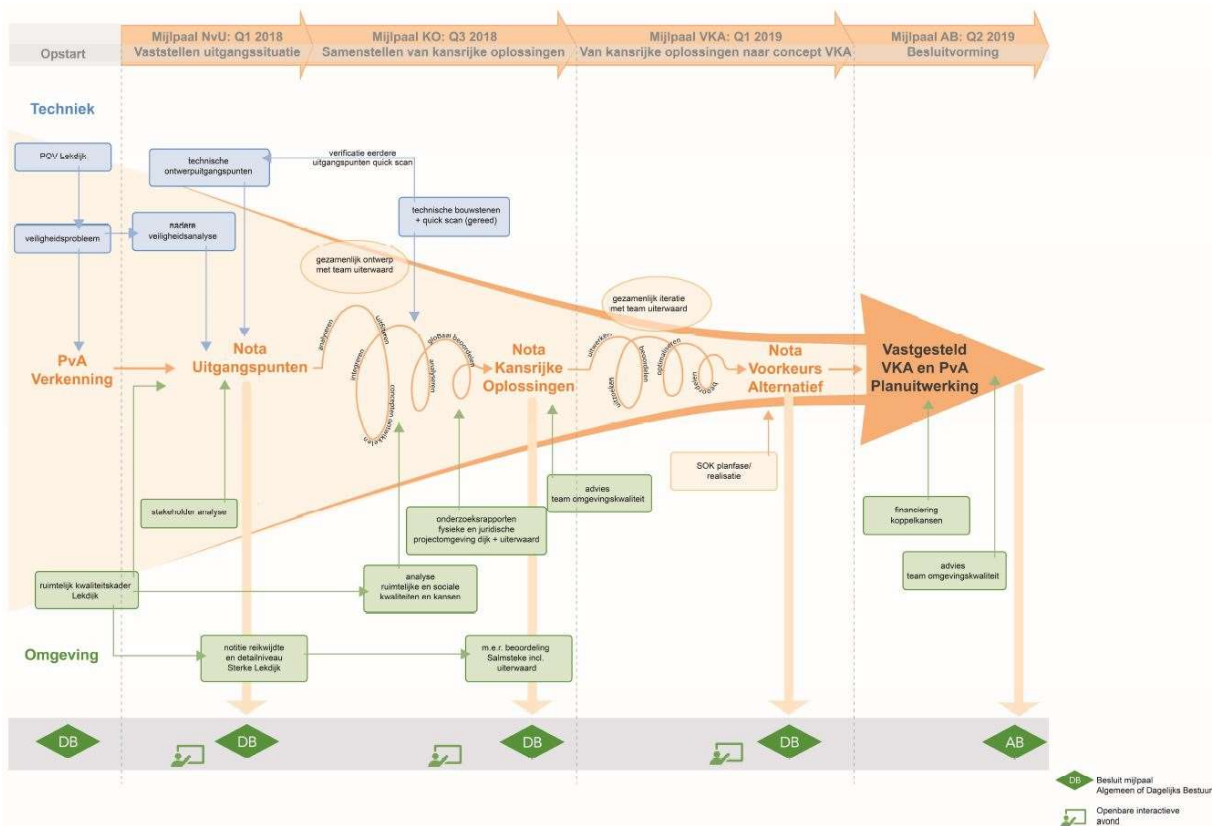
Ten vierde is het ontwerpproces integraal. Er wordt een integraal functioneel-ruimtelijk ontwerp, redenerend vanuit techniek en de ruimtelijke én sociale omgeving van de dijk gemaakt. Duurzaamheid is daarbij een leidend principe.



Inzichtelijkheid

De laatste kwaliteitseis betreft inzichtelijkheid of transparantie. In de verschillende nota's dient de besluitvorming en motivering navolgbaar te zijn. Dit wordt geborgd door toepassing van Systems Engineering en vastlegging in Relatics.

In de verkenningfase wordt het ontwerpproces beheerst door in vier deelfases te werken, namelijk: (1) de nota van uitgangspunten, (2) de nota kansrijke oplossingen, (3) de nota voorkeursalternatief en (4) vastgesteld voorkeursalternatief en een plan van aanpak voor de planuitwerking.



Figuur 3.1. Integrale ontwerpproces

Figuur 3.1 geeft een integrale ontwerpproces weer. Aan de bovenzijde staat het technische spoor uitgewerkt, aan de onderzijde het omgevingsspoor. Vervlechting van beide sporen verloopt via het centrale integratiespoor, waarin de landschapsarchitect een belangrijke rol vervult. Bovenin staan de belangrijkste mijlpaalmomenten benoemd. Naast de deel-, mijlpaal- en eindproducten worden ook de publieksmomenten en de besluitvormingsmomenten opgenomen. Het creatieve proces wordt weergegeven door de getoonde iteratieslagen in deelfase (2) en (3).

Als doel heeft deelfase (1) alle gegevens, eisen en belangen over de dijk en zijn omgeving te inventariseren, te analyseren, aan te vullen en vast te leggen. Hiermee worden de uitgangssituatie en het vertrekpunt voor het integrale ontwerpproces goed in beeld gekregen en het project wordt afgebakend. Er worden mogelijke technische bouwstenen geïdentificeerd, die benodigd zijn om het afgekeurde faalmechanisme tot een voldoende te laten scoren. De technische principe oplossingen worden verbonden met de omgevingswaarden en kansen, zodat de slag naar integrale bouwstenen gemaakt kan worden.

In deelfase (2) wordt een selectie gemaakt van alle mogelijke oplossingsrichtingen voor de dijkversterking naar kansrijke oplossingen: 'schetsontwerpen met een verhaal' ('zeef één'). Daarmee wordt beoordeeld dat elke kansrijke oplossing integraal is en een eigen zwaartepunt heeft: zoals maximaal inzetten op natuurontwikkeling en gebruik van vrijkomende grondstromen uit de uiterwaard of zoveel mogelijk behoud van cultuurhistorische waarden. Te denken valt aan drie verschillende varianten.

In deelfase (3) wordt de visie van de schetsontwerpen toegepast op het gehele projectgebied en dwarsprofielen en situatietekeningen worden gemaakt voor het hele tracé. Alle kansrijke oplossingen uit deelfase (2) worden in deze deelfase verder uitgewerkt, zodat het effect van de oplossingen bepaald kan worden ('zeef twee'). Dit wordt gedaan met behulp van berekeningen.

Een belangrijk onderdeel in het trechterproces is het beoordelingskader. Hierin worden de criteria gedefinieerd, waarop de verschillende oplossingsrichtingen worden gescoord richting zeef één, de kansrijke oplossingen, en zeef twee, het voorkeursalternatief. Het detailniveau van het beoordelingskader is in zeef twee gedetailleerder dan in zeef één. Elk deeltraject stelt een eigen beoordelingskader op, gebaseerd op de projectspecifieke kenmerken. De deeltrajecten stemmen de beoordelingskaders wel met elkaar af zodat bepaalde uniformiteit wordt geborgd. Voor zeef één zal de nadruk liggen op de thema's technische haalbaarheid, beheerbaarheid, uitbreidbaarheid, vergoedbaarheid, kosten en de koppeling met ruimtelijke kwaliteit, milieu en duurzaamheid.

De beoordelingscriteria van zeef twee zijn specifieker, gedetailleerder en kwantitatiever van aard. De thema's dienen door de deeltrajecten te worden opgesteld. Te denken valt aan de thema's duurzaamheid, hinder tijdens uitvoering, verkeersmaatregelen, draagvlak van stakeholders, omgevingskwaliteit, duurzaamheid, beheer & onderhoud, kosten, enzovoort.

### 3.4. Systems engineering

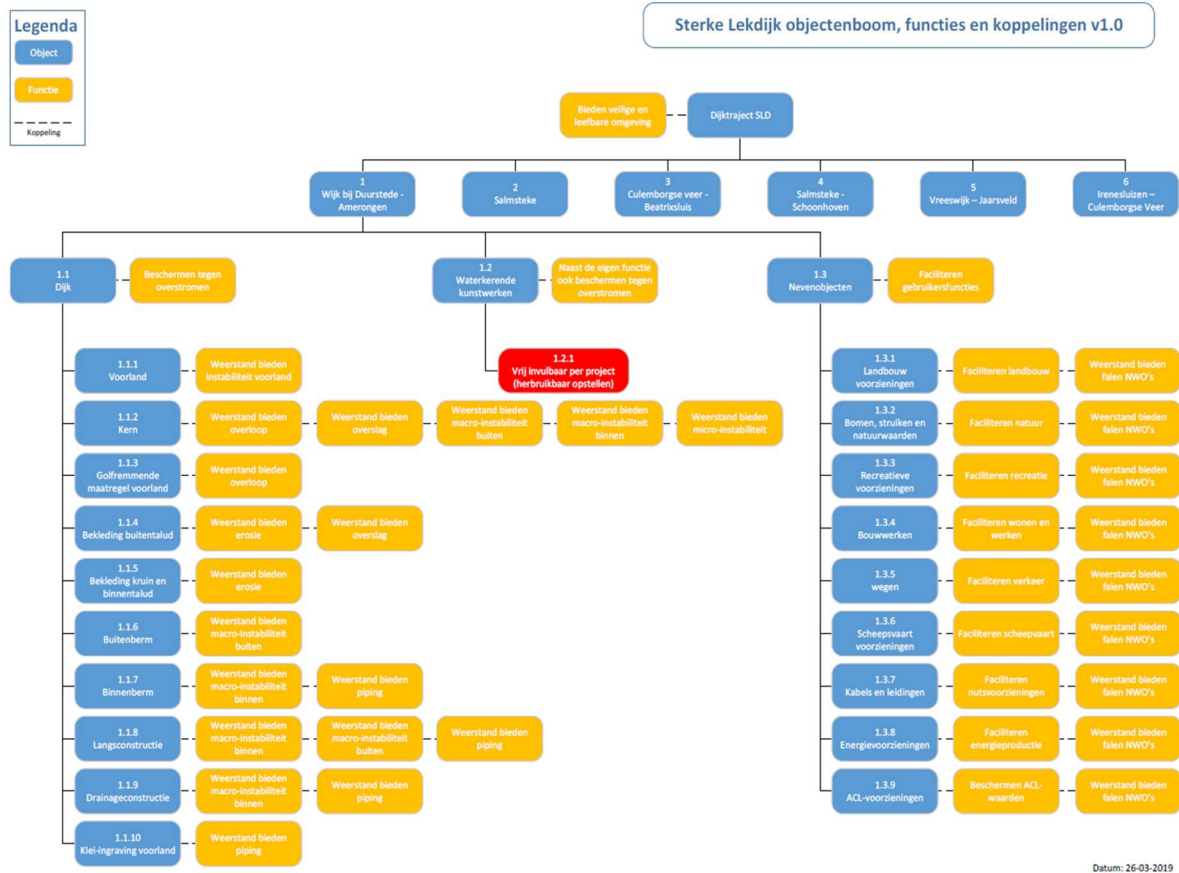
Sterke Lekdijk stelt zich ten doel systeemgericht en expliciet te werken door gebruik te maken van Systems Engineering (SE). Met het SE-mengpaneel bepaalt het project op welk niveau het SE wil toepassen. Om te zorgen dat het hele ontwerpproces herleidbaar wordt vastgelegd, is in Relatics een omgeving voor het project ingericht. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen het strategisch niveau (Lekdijk als geheel) en de deelprojecten. De inrichting gebeurt zo mogelijk op strategisch niveau en kan per deeltraject worden aangevuld of gespecificeerd. Daarnaast worden de werkpakketten van HDSR gebruikt als uitgangspunt om de werkwijze expliciet te maken.

Belangrijke uitgangspunten bij SE zijn dat de klantvraag (de omgeving) centraal staat, dat er van abstract naar concreet (van grof naar fijn) wordt gewerkt en dat alle keuzes en beslissingen eenduidig en aantoonbaar worden vastgelegd. Voor wat betreft de klantvraag (omgeving) zijn eisen en wensen afkomstig vanuit de beheerders van HDSR, vanuit de stakeholders (provincie, gemeentes, bewoners, enzovoort) en vanuit de herijking van de veiligheidsopgave. Alle eisen en wensen worden vastgelegd en in een aantal interactieve stappen verwerkt tot een gevalideerde set van eisen. Door alle wijzigingen in de scope met motivatie vast te leggen, is op alle momenten terugvindbaar wanneer welke ontwerpbeslissingen zijn genomen met de reden waarom.

In SE wordt de scope van een project als een systeem beschouwd, dat bestaat uit samenhangende en met elkaar samenwerkende onderdelen. Met de definitie van het systeem wordt de ruimtelijke begrenzing van het project, alsmede de reden en het doel van het project vastgelegd. Voor de verkenningsfase van Sterke Lekdijk geldt de volgende systeemdefinitie: de noordelijke dijk van de Lek tussen Amerongen en Schoonhoven, met buitendijks en binnendijks een nog nader te bepalen zone. Gedurende de volgende projectfasen zal de systeemdefinitie worden aangescherpt, waarbij vooral de zones buitendijks en binnendijks steeds nauwkeuriger worden bepaald.

Een belangrijk stap was de vaststelling van de Basisspecificatie Dijk (BSD) door het regieteam waterkeringen. De hierin opgenomen functie- en objectenboom is in overleg tussen regieteam en projectteam uitgewerkt en vastgesteld in het technisch managers-overleg (Figuur 3.2). Een belangrijke keuze daarin is geweest, dat de functies door meerdere objecten geleverd (kunnen) worden. De functie- en objectenboom zijn verwerkt in een centrale workspace BSD in Relatics en ingevoerd in de workspaces van de deelprojecten.





Figuur 3.2. Functieboom en objectenboom Sterke Lekdijk

Ongetwijfeld blijkt tijdens het project de behoefte om de bomen aan te passen of nader in te vullen. Daarbij zal worden bereikt dat een aanpassing/uitwerking door de andere deelprojecten ook gebruikt kan worden en we binnen het project Sterke Lekdijk zo veel als mogelijk uniform werken. Dit neemt niet weg, dat een uitwerking alleen voor één deelproject van toepassing kan zijn. Hierover is afgesproken, dat een aanpassing wordt besproken in een adviesteam (het tweewekelijks TM-overleg), en een beslisteam (strategisch team van Sterke Lekdijk). Wanneer er een unaniem advies is van het adviesteam dan is er geen besluit nodig van het beslisteam. Zo niet, dan wordt het beslisteam ingezet om een definitief besluit te nemen.

Naast de opdeling van een dijktraject in objecten (dwarsrichting) is ook een opdeling in dijkvakken (lengterichting) gebruikt. Op die manier kunnen eisen worden gekoppeld aan het gedeelte van een dijktraject waarvoor ze relevant zijn.

Na vaststelling van de objectenboom is een koppeling gemaakt tussen eisen uit de BSD en de objectenboom. Bovendien is inzichtelijk gemaakt welke eisen uit de BSD hard zijn (in feite vormen deze eisen de opdracht voor het project) en wat daarnaast wensen van de beheerorganisatie zijn (interne KES). De afzonderlijke eisen uit de BSD zullen, net als de eisen van andere partijen als 'klanteisen' worden behandeld. Alle klanteisen doorlopen een proces van honorering, zoals beschreven in de Werkwijzer Projecten van HDSR [8]. De honorering kan leiden tot drie resultaten:

- klanteis gehonoreerd: deze wordt meegenomen;
- klanteis afgewezen: deze wordt niet meegenomen;
- klanteis nog niet relevant: deze wordt in een volgende fase beoordeeld.

De honorering van relatief eenvoudige eisen gebeurt door de omgevingsmanager, zo nodig in overleg met de technisch manager. Complexere eisen, met gevolgen voor tijd, geld, risico's of scope worden door het projectteam behandeld en zo nodig (volgens de mandateringsregeling) voorgelegd aan de ambtelijk opdrachtgever of het bestuur.

De komende periode wordt SE verder uitgewerkt. Daarbij is onder andere aandacht voor het proces van verificatie en validatie en voor het opnemen van de nota van uitgangspunten in Relatics. Het regieteam waterkeringen is nauw betrokken bij het vullen van Relatics, zodat er aandacht is voor optimale toegankelijkheid van informatie voor de langere termijn. Veel projectinformatie is immers ook van belang voor het beheer, op dit moment en na oplevering van het project.

### 3.5. Procesafspraken met de beheerder

Een dijkversterking is een onderdeel van de beheertaak van het waterschap. De projectfase is een tussenfase in het dagelijks beheer. Het project resulteert in een versterkte dijk die beheerbaar is in alle facetten. De oplevering van gegevens en documenten geschiedt continu door deze op te slaan in het beheerregister en het archief van de beheerorganisatie. De oplevering van de dijk zelf gebeurt na afronding van de realisatie van een deelproject. Het projectteam draagt het betreffende dijktraject over aan de beheerorganisatie van het waterschap. Zij beheren en onderhouden de Lekdijk in de jaren na de oplevering. Onderdeel van de oplevering zijn de tekeningen en berekeningen die als basis dienen voor het nieuwe leggerprofiel, inclusief het profiel van vrije ruimte. De beheerder draagt zorg voor het opstellen van de legger.

De beheerorganisatie is daarom nauw betrokken bij de gehele dijkversterking. In paragraaf 2.4 is de ambitie van de beheerder opgenomen. De inhoudelijk eisen en wensen werkt de beheerder uit in de BSD.

Procesafspraken zijn uitgewerkt in het Programmaplan. Tijdens de verkenning is de beheerder betrokken bij onderzoeken en bij het ontwerpproces:

- de beheerder draagt bij aan de beoordeling van onderzoeksrapporten en krijgt de gelegenheid te reageren op ieder mijlpaalproduct (vanuit zijn specifieke kennis en belang);
- de beheerder verifieert de eisen aan het ontwerp (en toetst die aan de BSD);
- de beheerder valideert het ontwerp;
- de beheerder denkt mee over de uitwerking van beheer en onderhoud, parallel aan het ontwerpproces;
- de beheerder denkt mee bij belangrijke keuzemomenten in het ontwerp; de mening van de beheerder geldt als een zwaarwegend advies voor beslissingen door de projectorganisatie;
- met de beheerder worden afspraken gemaakt over beheer en onderhoud tijdens de uitvoering, en over de omgang met calamiteuze situaties.

## 4. Ontwerphilosofie

---

In hoofdstuk 2 zijn de randvoorwaarden van het HWBP en de ambities van het bestuur en de beheerder beschreven. Deze vormen de basis voor de ontwerphilosofie, die aangeeft welke uitgangspunten belangrijk zijn voor de versterking van de gehele Lekdijk. Kernbegrippen daarin zijn eenheid, integraal, toekomstgericht, duurzaam en innovatief. Daarnaast zijn duidelijke ontwerpkeuzes en het omgaan met onzekerheden van belang.

### 4.1. Eenheid in het ontwerp

De dijk is opgedeeld in zes deeltrajecten met elk hun eigen planning. De versterking van de Lekdijk blijft echter één project, dat gefaseerd wordt aangepakt. De fasering kan worden aangepast wanneer daar reden toe is. Wanneer er bijvoorbeeld door gebiedsontwikkelingen kansen zijn om de veiligheid sneller of eenvoudiger te realiseren, zal aanpassing van de fasering en programmering worden overwogen. Wanneer activiteiten uitstijgen boven het niveau van een deeltraject, zullen ze centraal door het strategisch team worden uitgevoerd. Daarbij kan het gaan om onderzoeken die voor de gehele dijk gelden, maar ook om het uitwerken welke mogelijkheden er zijn voor compensatie van waterstandseffecten en natuur. Het is immers goed mogelijk, dat de effecten van maatregelen in het ene deeltraject beter in een ander deeltraject kunnen worden gecompenseerd.

Een belangrijk aandachtspunt is de samenhang tussen de deeltrajecten. Op de overgang van twee deeltrajecten wordt bijzondere aandacht besteed aan de vormgeving van de overgang, die uiteindelijk niet als zodanig herkenbaar mag zijn. Het ruimtelijk kwaliteitskader is daarbij richtinggevend, maar ook de technische uitgangspunten moeten aansluiten.

Tussenstukken in een deeltraject zijn korte dijkvakken, die in de huidige beoordeling niet zijn afgekeurd. Hiervoor is geconcludeerd, dat het niet verstandig is om deze uit de scope van de dijkversterking te schrappen. Mogelijk zullen hier toch maatregelen plaatsvinden om tot een consistent dijkontwerp te komen. Ook kan de restlevensduur van deze vakken korter zijn dan de ontwerplevensduur van de aansluitende vakken waardoor op termijn toch werkzaamheden nodig zijn. Bovendien hebben maatregelen op aangrenzende vakken invloed op deze vakken. De grens voor deze tussenstukken is arbitrair gelegd bij een lengte van één kilometer. Kortere stukken maken deel uit van de scope van het project en worden meegenomen in het ontwerp.

Technische knelpunten in de deeltrajecten verdienen bijzondere aandacht. Het gaat hierbij om locaties waar zich constructieve elementen in de dijk bevinden, als onderdeel van de waterkering of als niet-waterkerend element. Het gaat ook om locaties waar vrijwel zeker geen ruimte is voor een oplossing in grond. Deze locaties worden tevoren geïnventariseerd en gelden als aparte ontwerp-opgave, waar een maatwerkoplossing nodig is. Bij bestaande constructieve elementen wordt bovendien nagegaan of onderhoudsmaatregelen nodig zijn en in de werkzaamheden kunnen worden meegenomen.

### 4.2. Integraal ontwerpen

De eenheid van de dijk komt ook tot uiting in het streven naar een integraal ontwerp voor de gehele Lekdijk. Een integraal ontwerp betekent, dat de veiligheidsopgave, de inpassingsopgave en ruimtelijke opgaven rond de dijk in gezamenlijkheid worden opgepakt. De uitgangspunten voor het ruimtelijk ontwerp zijn onder andere uitgewerkt in het ruimtelijk kwaliteitskader. De algemene technische uitgangspunten staan in hoofdstuk 6 van deze nota. Ze sluiten aan bij het OI en geven daar een nadere invulling aan.

### 4.3. Ontwerpkeuzes

Vanuit het beheer is er een voorkeur voor oplossingen in grond, omdat grond het best aansluit bij de huidige beheersactiviteiten en in veel gevallen makkelijk uitbreidbaar is. Daarom vormt dit het vertrekpunt voor het ontwerp, maar dat betekent niet dat de keuze vastligt. Oplossingen in grond en constructieve oplossingen worden tegen elkaar afgewogen, waarbij de ambities van de beheerder een

belangrijke rol spelen. Van belang is, dat de oplossing bijdraagt aan een dijk die nu en in de toekomst veilig te houden is en die goed te beheren en te onderhouden is, tegen zo laag mogelijke maatschappelijke kosten. Bij de afweging wordt de gehele levenscyclus beschouwd, waarbij ook uitbreidbaarheid en aanpasbaarheid van belang zijn (zie paragraaf 6.6). Daarnaast zijn ook de ruimtelijke inpassing en de investeringskosten van belang bij de keuze.

Bij de keuze tussen een binnendijkse en een buitendijkse oplossing zal binnendijkse versterking meestal de voorkeur verdienen, zodat beperking van het doorstroomprofiel van de rivier wordt voorkomen. Rijkswaterstaat stelt strenge eisen aan buitendijkse versterking (zie paragraaf 3.2). Ook bij Natura 2000-gebieden buitendijks wordt in eerste instantie naar binnendijkse oplossingen gekeken. Echter zullen bij deze keuze alle argumenten worden afgewogen.

#### 4.4. Toekomstgericht ontwerp

De dijk wordt ontworpen voor een bepaalde levensduur. Conform de eisen van het HWBP wordt de levensduur geoptimaliseerd door de gehele levenscyclus te beschouwen (LCC-benadering). Wanneer zich geen onvoorziene ontwikkelingen voordoen, zal de verbeterde dijk vervolgens bij de komende beoordelingsronden tot aan het eind van de ontwerp levensduur worden goedgekeurd. Wanneer nieuwe inzichten leiden tot een verandering van normen, belastingen of rekenregels moet de waterkering relatief eenvoudig uitbreidbaar of aanpasbaar zijn. Ook bij constructie-onderdelen die op termijn vervangen moeten worden, wordt bij het ontwerp al rekening gehouden met de mogelijkheden voor deze vervanging.

#### 4.5. Omgaan met onzekerheden

De technische kennis van het ontwerpen van dijken zal zich de komende jaren blijven ontwikkelen. Dit betekent dat er een bepaalde onzekerheid zit in het gehanteerde ontwerp instrumentarium. Daarnaast hebben alle toekomstige belastingen te maken met een bepaalde onzekerheid in de verwachtingswaarde, bijvoorbeeld in de klimaatscenario's en in de rivierafvoerverdeling bij extreme afvoer en mogelijke beleidsmatige keuzes en maatregelen die dat in de toekomst kunnen veranderen. Door de uitgangspunten zoveel mogelijk over te nemen uit het Ontwerp Instrumentarium (OI) [11] wordt een groot deel van deze onzekerheden en (kennis)ontwikkelingen meegenomen in een bepaald conservatisme in de beoordeling en in het ontwerp. Door rekening te houden met uitbreidbaarheid, aanpasbaarheid en vervangbaarheid tijdens de levensduur van de waterkering kunnen ook onverwachte ontwikkelingen makkelijker opgevangen worden.

Sterke Lekdijk hanteert een werkwijze, waarbij de kennis bij de start van een fase (verkenning, planvoorbereiding) wordt 'bevroren'. Ieder deeltraject stelt bij de start van een fase een nota van uitgangspunten op. Het projectteam zorgt voor een breed draagvlak door af te stemmen met het Projectbureau HWBP, het Kennisplatform Risicobenadering (KPR) en de omgeving. Ook collegiale reviews door andere waterschappen en andere adviesbureaus, en samenwerking met de POV's en de Helpdeskwater behoren tot de mogelijkheden. Die nota geeft duidelijkheid voor het ontwerp.

Er is wel ruimte om een uitgangspunt, dat in het ontwerpproces blijkt niet te voldoen, aan te passen. Aan het einde van de fase wordt geïnventariseerd welke nieuwe inzichten er zijn op het gebied van normen, belastingen of rekenregels. In een impactanalyse wordt bepaald wat het effect van deze inzichten is en of deze nog moeten worden meegenomen of bewust niet. Het is uiteindelijk aan het projectteam om te beslissen of dit leidt tot een eenmalige aanpassing van het ontwerp, alvorens tot vaststelling (van het voorkeursalternatief of projectplan) over te gaan. Uiteraard kan het projectteam altijd concluderen dat een nieuw inzicht naar verwachting zodanige consequenties heeft, dat het uitgangspunt tijdens de looptijd van een fase moet worden aangepast. Als dat gevolgen heeft in tijd, geld of scope worden de uitgangspunten hiervoor aan het bestuur voorgelegd.

#### 4.6. Innovatie

Het is een bestuurlijke ambitie om ruimte te creëren voor innovatie en ontwikkeling van nieuwe technieken. Dit wordt gedaan door:

- het bieden van (experimenteer)ruimte aan marktpartijen om praktijkervaring op te doen met nieuwe oplossingen en technologieën. Hierbij worden uitdrukkelijk uitgenodigd om innovatieve technieken voor te stellen, altijd met als doel om tot de beste oplossing te komen;
- door onze kennis en ervaring te delen met andere partijen, zoals kennisinstellingen, overheden, bewoners en het bedrijfsleven;
- het werken met moderne contractvormen, waarbij bijvoorbeeld in samenspraak met markt of maatschappij nieuwe vormen van samenwerking zijn gekomen. Er worden zo veel mogelijk functionele eisen, bijvoorbeeld ten aanzien van de uiterste- en de bruikbaarheidsgrenstoestand gesteld;
- te onderkennen dat innoveren mensenwerk is. Innovatie kan tot wasdom komen in een open, constructieve werksfeer waarin nieuwe ideeën en meedenken door bewoners en anderen worden gewaardeerd. Nieuwe ideeën betekent ook dat deze niet altijd zullen slagen. Hiermee worden rationeel en weloverwogen omgegaan;
- innovaties waarvan het maatschappelijk en financieel perspectief groot zijn, wordt er voorrang gegeven. Innovaties die niet snel kostenneutraal zijn, wordt evenwichtig afgewogen, op basis van kosten-baten en maatschappelijke meerwaarde. Tenslotte heeft het waterschap de wens om de zichtbaarheid van innovaties verder te vergroten.

HDSR staat open voor innovatieve ideeën gedurende het ontwerpproces, maar wil zo veel mogelijk innovaties al bij de start van de verkenning in beeld hebben. Daarom wordt een innovatiescan uitgevoerd, waarin wordt uitgewerkt welke innovaties mogelijk kansrijk zijn. Innovaties worden onder andere beoordeeld op doelbereik, kosten, technische en maatschappelijke haalbaarheid, juridische en/of bestuurlijke blokkades, beheer- en onderhoudbaarheid.

Kansrijke innovaties zullen tijdens de verkenning als volwaardige oplossing worden beschouwd, naast de reeds bewezen technieken. Van deze innovaties worden de voordelen en risico's vanuit verschillende invalshoeken in beeld gebracht. Beheerder, onderhoudsmedewerker, omgeving en bestuur worden hierbij betrokken. In elk geval worden doorontwikkeltijd en -kosten, zekerheid van functioneren en de terugvaloptie (indien de techniek toch niet functioneert) uitgewerkt en betrokken in de afweging van alternatieven.

Een belangrijk aandachtspunt is of een controlemechanisme kan worden ingebouwd, dat aantoont of de oplossing werkt. Dit "controlelampje" geeft inzicht voor de beheerder, maar mogelijk ook voor de omgeving.

Innovatie in de vorm van kennisontwikkeling kan ook bijdragen aan het verkleinen van de uiteindelijke ontwerpogave. De toepassing van deze ontwikkelingen wordt nog uitgewerkt voor de Sterke Lekdijk.

## 4.7. Duurzaamheid

De door het bestuur gedefinieerde focusgebieden voor duurzaamheid (paragraaf 2.3.4), worden als kader meegegeven aan de deeltrajecten. In de individuele deeltrajecten wordt de volgende werkwijze gehanteerd:

- duurzaamheid maakt als thema een vanzelfsprekend onderdeel uit van besluiten en werkzaamheden, zoals het beoordelingskader waarin verschillende alternatieven met elkaar worden vergeleken, het Projectbesluit of bij de aanbesteding van werkzaamheden;
- er wordt binnen de (deel)projecten de tools gebruikt zoals die ontwikkeld zijn binnen het programma 'Duurzaam GWW'. Een pool van duurzaamheidsfacilitatoren is binnen HDSR opgeleid om duurzaamheidssessies te begeleiden. In de omgevingswijzer wordt de impact van de dijkversterking in het plangebied op gestructureerde wijze inzichtelijk gemaakt. Het uitgangspunt hierbij is een traditionele dijkversterking in grond en een volledige projectcyclus, van verkenning tot en met realisatie. Duurzaamheidskansen worden geïdentificeerd. De volgende vragen worden opgepakt: welke belastende factoren zijn er vanuit het project op people, planet en profit? waar wordt (de meeste) milieubelasting voorzien? waar is winst te boeken en waar is waarde te creëren? Hiervoor wordt bijvoorbeeld aansluiting bij de POV gebiedseigen grond verkend.

In het ambitieweb worden duurzaamheidsmaatregelen verkend en verschillende ambitieniveaus bepaald: van enkel inzichtelijk maken tot volledige compensatie. De focusgebieden worden beschouwd, maar de individuele deeltrajecten bepalen de specifieke thema's en de scores zelf. In de



vervolgfasen worden deze maatregelen nader uitgewerkt in de verschillende alternatieven. In de zeef van kansrijke oplossingen naar het voorkeursalternatief zal het thema duurzaamheid worden opgenomen in het beoordelingskader en zal er in een onderbouwing aangegeven worden welke duurzaamheidsmaatregelen onderdeel vormen van het voorkeursalternatief.

## 5. Veiligheid, gezondheid en milieu

---

Veiligheid, gezondheid en milieu maken een integraal deel uit van het ontwerpproces binnen HDSR. De ontwerpkeuzes op dit gebied worden vastgelegd in de Nota Kansrijke Oplossingen. Daarnaast worden veiligheid, gezondheid en milieu als criterium meegenomen bij de afweging van kansrijke oplossingen.

Bij iedere oplossing zal sprake zijn van restrisico's op het gebied van veiligheid, gezondheid en milieu. Na de keuze voor het voorkeursalternatief wordt een risicosessie georganiseerd, waarin de restrisico's worden beschreven en beheersmaatregelen worden aangegeven. De restrisico's worden per fasering vastgelegd.

Bij het ontwikkelen van de kansrijke oplossingen moeten in elk geval de volgende aandachtspunten worden meegenomen:

- het ontwerp moet aan de vigerende veiligheids- en milieuwetgeving voldoen (bijvoorbeeld de arbeidsomstandighedenwet en Arbocatalogi voor waterschappen);
- het ontwerp moet veilig en gezond kunnen worden onderhouden en beheerd. Het gaat daarbij onder andere om maaiwerkzaamheden, inspectie (dagelijks en tijdens calamiteiten), herstelwerkzaamheden en bereikbaarheid van objecten in de nabijheid van de dijk;
- het ontwerp moet veilig en gezond kunnen worden gebruikt door alle belanghebbenden (dus ook omwonenden, weggebruikers e.d.);
- het ontwerp moet veilig en gezond maakbaar en haalbaar zijn. Dat heeft te maken met de bouwwijze maar ook met de planning.

➤ Aandachtspunten voor veiligheid zullen ook worden opgehaald bij de belanghebbenden, voor opname in de Klanteis Specificatie (KES) [13].

Het onderwerp veiligheid, gezondheid en milieu wordt uitgewerkt in een veiligheidsmanagement plan voor Sterke Lekdijk. Dit vormt vervolgens de basis voor een veiligheids-, gezondheids- en milieuplan (VGM-plan) door de opdrachtnemers, zowel voor de ontwerpfasen als de uitvoeringsfasen.

Bij onderzoeken in het veld, zoals grondonderzoek, wordt de nota Veilig Werken op Locaties Waterbeheer [14] meegestuurd met de uitvraag. Deze wordt afgestemd met het KAM-team van het waterschap. Afhankelijk van de grootte van de opdracht en de risico's van het werk volgens de Bijlage II Richtlijn Nr. 92/57/EEG [15], moet een VGM-plan Ontwerpfase worden opgesteld. Wanneer de opdracht is verleend, dient de opdrachtnemer een VGM-plan Ontwerpfase en/of Uitvoeringsfase te maken.

Naast plannen en criteria is veiligheid in de eerste plaats een kwestie van bewustzijn. Dit wordt bereikt niet alleen door regels op te schrijven, maar ook door met elkaar te bespreken wat belangrijk zijn en hoe dat te bereiken. Voor Sterke Lekdijk wordt dit uitgewerkt in een veiligheidsstatement. Hierin wordt de aandachtspunten opgenomen, waarbij het volgende in aanmerking moet worden genomen:

- verantwoordelijkheid nemen voor de eigen veiligheid en die van anderen;
- feedback geven en ontvangen ten aanzien van veiligheid, gezondheid en milieu;
- procedure en instructies vastleggen en opvolgen;
- incidenten melden en goede ideeën delen.

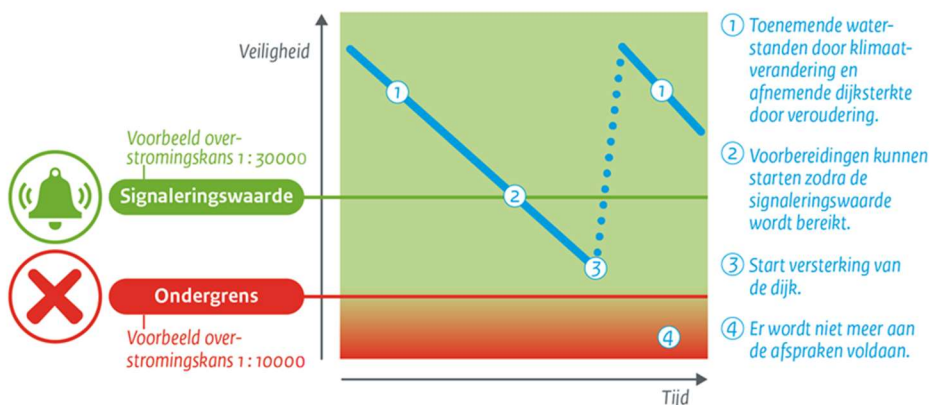
## 6. Algemene technische uitgangspunten

### 6.1. Normering

Vanaf 2017 zijn de nieuwe veiligheidsnormen van kracht, die zijn vastgelegd in de Waterwet. De wet maakt onderscheid tussen een signaleringsnorm, die dient om tijdig de versterkingsopgave in beeld te brengen, en een ondergrens, ofwel de maximaal toelaatbare overstromingskans (zie Figuur 6.1).

Het project Sterke Lekdijk omvat de normtrajecten 15-1 en 44-1. Voor beide normtrajecten is de signaleringsnorm 1/30.000 per jaar. Aan het einde van de levensduur moet de waterkering nog voldoen aan de ondergrens, d.w.z. een overstromingskans van 1/10.000 per jaar.

Verloop van de veiligheid tijdens de levensduur van de dijk



Figuur 6.1. Signaleringswaarde en ondergrens

### 6.2. Faalkansverdeling

De overstromingskansnorm van 1/10.000 wordt verdeeld over alle faalmechanismen over het gehele normtraject. Verschillende faalmechanismen hebben een kansbijdrage (faalkansruimtefactor). Hiervoor gaan we uit van een standaard faalkansruimtefactor conform de Bijlage III Regeling Veiligheid Primaire Waterkeringen 2017 [16], zoals opgenomen in Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Faalkansruimtefactor per faalmechanisme

Faalmechanisme	Faalkansruimtefactor
Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)	0,24
Piping (STPH)	0,24
Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI) en buitenwaarts (STBU)	0,04
Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)	0,05
Overige bekledingen buitentalud	0,05
Hoogte kunstwerk (HTKW)	0,24
Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW)	0,04
Piping bij kunstwerk (PKW)	0,02
Sterkte en stabiliteit kunstwerk (STKWp)	0,02
Overige faalmechanismen	0,30

Het OI [11] maakt duidelijk dat alleen zeer grote uitwisseling van faalkansbijdrage tussen de faalmechanismen effect heeft op het ontwerp. Een toename van de kansbijdrage met een factor twee heeft nauwelijks effect en moet bovendien voor het hele normtraject worden toegepast. Omdat bij voorbaat langs de Lekdijk geen faalmechanismen kunnen worden uitgesloten, is er geen reden om voorafgaand aan het ontwerpproces de faalkansen anders te verdelen dan in het OI wordt aangegeven.

Wanneer tijdens het ontwerpproces blijkt dat bijvoorbeeld het ruimtebeslag van een maatregel net een probleem oplevert, kan worden overwogen om de faalkansverdeling alsnog aan te passen. Opgemerkt wordt dat de effecten van het aanpassen van de faalkansruimtefactor op een deeltraject dan wel moeten worden uitgewerkt over het gehele normtraject. Het is dus een ontwerprijheid maar de gevolgen kunnen hierdoor verstrekkend zijn en moeten overkoepelend op programmaniveau worden afgestemd.

### 6.3. Faalkanseisen per faalmechanisme

Conform het OI dient de maximaal toelaatbare faalkans (1/10.000) te worden verdeeld over de verschillende faalmechanismen die van toepassing zijn voor het dijktraject. Hiermee worden de faalkanseisen per doorsnede en per faalmechanisme bepaald.

De lengte van het dijktraject 15-1 is 23 km, terwijl die van het dijktraject 44-1 32,4 km is. De lengte-effect factor (N) is bepaald conform de formules in de Bijlage III Regeling Veiligheid Primaire Waterkeringen 2017 [16] of de Bijlage A en Tabel 3 van het OI [12] of de Bijlage C van de Schematiseringshandleiding Grasbekleding [17]. De betrouwbaarheidsindex ( $\beta$ -eis) en de faalkanseisen per dijktraject per faalmechanisme zijn respectievelijk in Tabel 6.2 en Tabel 6.3 gegeven.

Tabel 6.2. Faalkanseisen per doorsnede voor het traject 15-1

Faalmechanisme	N	$P_{\text{eis, dsn}}$ [Jaar <sup>-1</sup> ]	$\beta_{\text{eis}}$ [-]
Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)	1	$2,4 \times 10^{-5}$	4,07
Piping (STPH)	31.67	$7,6 \times 10^{-7}$	4,81
Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI)	16.18	$2,5 \times 10^{-7}$	5,03
Marcostabiliteit buitenwaarts (STBU)	16.18	$2,5 \times 10^{-6}$	4,57
Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)	1	$5,0 \times 10^{-6}$	4,42
Hoogte kunstwerk (HTKW)	1	$2,4 \times 10^{-5}$	4,07
Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW)	2	$2,0 \times 10^{-6}$	4,61
Piping bij kunstwerk (PKW)	4	$5,0 \times 10^{-7}$	4,89
Sterkte en stabiliteit kunstwerk (STKWp)	3	$6,7 \times 10^{-7}$	4,83

Tabel 6.3. Faalkanseisen per doorsnede voor het traject 44-1

Faalmechanisme	N	$P_{\text{eis, dsn}}$ [Jaar <sup>-1</sup> ]	$\beta_{\text{eis}}$ [-]
Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)	1	$2,4 \times 10^{-5}$	4,07
Piping (STPH)	98.20	$2,4 \times 10^{-7}$	5,03
Macrostabieliteit binnenwaarts (STBI)	22.38	$1,8 \times 10^{-7}$	5,09
Marcostabiliteit buitenwaarts (STBU)	22.38	$1,8 \times 10^{-6}$	4,63
Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)	1	$5,0 \times 10^{-6}$	4,42
Hoogte kunstwerk (HTKW)	1	$2,4 \times 10^{-5}$	4,07
Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW)	3	$1,3 \times 10^{-6}$	4,69
Piping bij kunstwerk (PKW)	6	$3,3 \times 10^{-7}$	4,97
Sterkte en stabiliteit kunstwerk (STKWp)	3	$6,7 \times 10^{-7}$	4,83

Voor macrostabieliteit buitenwaarts is de faalkanseis afhankelijk van de hersteltijd na bezwijken van de kering en het optreden tot omstandigheden waarbij de dijk faalt. Omdat toetsspoor macrostabieliteit een indirect mechanisme betreft, wordt met een factor 10 grotere faalkans berekend in vergelijking met het toetsspoor macrostabieliteit binnenwaarts, conform de Bijlage III Regeling Veiligheid Primaire Waterkeringen 2017 [16].

Voor piping kunstwerken is in eerste instantie het aantal aanwezige kunstwerken met een significante bijdrage aan de faalkans van belang om de N-waarde te bepalen. Conform de Bijlage III Regeling Veiligheid Primaire Waterkeringen 2017 [16] is de N-waarde voor het toetsspoor hoogte kunstwerk gelijk aan de waarde voor het toetsspoor grasbekleding erosie kruin en binnentalud. Voor het toetsspoor sterkte en stabiliteit kunstwerk geldt de N-waarde conform de Bijlage III Regeling Veiligheid Primaire Waterkeringen 2017 [16].

## 6.4. Bruikbaarheidsgrenstoestand

De bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) is de toestand waarbij andere functies dan 'waterkeren' nog net niet falen. Denk aan wegen, kabels en leidingen, bebouwing, maar ook inspecties van de waterkering beschrijft de eisen die worden gesteld door andere functies dan waterkeren. Voor deze andere functies gelden faalkanseisen die vaker voorkomen dan de norm (dus bij een lagere belasting dan de belasting die geldt bij de norm). Er is dus feitelijk sprake van meerdere BGT's. In BGT's zal er sprake zijn bijvoorbeeld minder golfoverslag en vervorming van het dijklichaam.

Er dienen drie BGT's te worden beschouwd:

1. de BGT waarbij inspectie en herstelwerkzaamheden door het waterschap nog net mogelijk zijn. Als uitgangspunt wordt gehanteerd dat de inspectie en herstel mogelijk moeten zijn tot een situatie bij 10x de norm (ondergrens), d.w.z. 1/1.000 per jaar;
2. de BGT waarbij het gewone gebruik van de gronden achter de dijk nog mogelijk is. Als uitgangspunt wordt een situatie gehanteerd die is afgeleid van de wateroverlastnormen, d.w.z.
  - in bebouwd gebied een situatie van 1/100 per jaar;
  - in landbouwgebied een situatie van 1/25 per jaar;
3. de BGT waarbij het gewone gebruik van de weg nog mogelijk is. Als uitgangspunt wordt gehanteerd dat gewoon gebruik mogelijk moet zijn tot een situatie met een kans van voorkomen van 1/50 per jaar, conform POV-Macrostabieliteit Matrix UGT-BGT [22].

Bij deze BGT's horen de volgende nadere uitgangspunten:

### *Inspectie en herstel*

Bij een situatie met een kans van voorkomen van 1/1.000 per jaar:

- de maximale golfoverslag is zodanig dat een inspecteur nog veilig op de dijk kan lopen en dat voertuigen veilig over de dijk kunnen rijden. Van beide mag verwacht worden dat ze voorbereid zijn op enige mate van overslaand water. De maximale golfoverslag is 1 l/s/m.
- de breedte van het wegllichaam is intact en er is geen sprake van dusdanige afschuiving, vervorming of verwerking van het dijklichaam dat het niet veilig is voor waterschapspersoneel zich op de dijk te bevinden. Dit betekent dat:
  - macrostabieliteit voldoet bij de toelaatbare verkeersbelasting
  - geen duidelijk zichtbare verzakking of scheurvorming tot in de diepere grondlagen, d.w.z. grondlagen die dieper zijn dan 1 m.
  - constructies kunnen de belasting zonder zichtbare vervorming (scheurvorming of kromming) of grondverstoring weerstaan.
- vrachtverkeer voor het uitvoeren van herstelwerkzaamheden is toegelaten op de weg. Dit is beperkt tot maximaal twee vrachtwagens tegelijk op een dijkvak van 50 m. Ander verkeer mag niet op de dijk. Dit betekent dat de maximale verkeersbelasting 8 kPa is over een breedte van 2,5 m en een lengte van 50 m, conform de KPR Factsheet Verkeersbelasting en Macrostabieliteit [24]. Voor de verkeersbelasting wordt uitgegaan van een spreidingshoek van 30° en een consolidatiegraad van 0% voor de cohesieve lagen en 100% voor de niet-cohesieve lagen.

### *Gebruik gronden achter de dijk*

- in bebouwd gebied treedt geen wateroverlast op bij een situatie met een kans van voorkomen van 1/100 per jaar. De maximale golfoverslag is zodanig dat in bebouwd gebied het oppervlaktewaterpeil het maaiveldniveau nergens overschrijdt. Dit hangt uiteraard nauw samen met de afvoercapaciteit van het achterliggende watersysteem.
- in landbouwgebied treedt in beperkte mate wateroverlast op bij een situatie met een kans van voorkomen van 1/25 per jaar. De maximale golfoverslag is zodanig dat in landbouwgebied het percentage van een (peil)gebied waar het oppervlaktewaterpeil het maaiveldniveau overschrijdt maximaal gelijk is aan 1%, conform de Waterverordening Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden [30].

De mogelijke wateroverlast verschilt per peilgebied, afhankelijk van de oppervlakte en de mogelijkheid tot afwatering naar peilgebieden die verder van de dijk afliggen. De wateroverlast kan worden bepaald door het hanteren van een stormduur van tien uur met een gemiddeld overslagdebiet van 0,5 x het ontwerpoverslagdebiet. Als wordt ontworpen op een overslagdebiet van 10 l/s/m is het waterbezwaar gelijk aan 5 l/s/m gedurende 10 uur.

### Gebruik van wegen

Bij een situatie met een kans van voorkomen van 1/50 per jaar:

- de maximale golfoverslag is zodanig dat particulier verkeer en wandelaars veilig over de dijk kunnen rijden en lopen. Ze zijn niet voorbereid op overslaand water. De maximale golfoverslag is 0,1 l/s/m.
- er zijn geen zichtbare en voelbare veranderingen aan het dijklichaam. Dit betekent dat:
  - macrostabiliteit voldoet bij de toelaatbare verkeersbelasting
  - geen grote scheuren of verzakkingen in het grondlichaam, ook oppervlakkige stabiliteit (taludzakking) blijft gewaarborgd
  - constructies kunnen de belasting zonder blijvende vervorming of grondverstoring weerstaan
- de weg is open voor alle verkeer. De maximale verkeersbelasting is 15 kPa en dit komt overeen met verkeersklasse 60, conform de KPR Factsheet Verkeersbelasting en Macrostabiliteit [24].

Voor deze BGT situaties moet worden beoordeeld of ze maatgevend zijn voor het ontwerp. In dat geval moet de BGT-eis verder worden ingevuld in het ontwerp. Vaak is met een eenvoudige benadering al te beoordelen of een BGT-eis maatgevend kan zijn boven de UGT-eis, zoals bijvoorbeeld bij de bepaling van de terugkeertijd van kleinere overslagdebieten.

## 6.5. Ontwerplevensduur

Bij het ontwerp wordt uitgegaan van een levensduur van 50 jaar voor grondlichaam. Voor kunstwerken en waterkerende constructies wordt een levensduur van 100 jaar gehanteerd. Dit geldt ook voor vervangende waterkerende constructies bij bijvoorbeeld hogedruk leidingen.

Een ontwerp dient vervolgens te worden geoptimaliseerd op basis van de levenscyclus-benadering (LCC). Dat wil zeggen, dat de kosten van investering, beheer en onderhoud (zowel dagelijks als groot onderhoud), en vervanging moeten worden geoptimaliseerd over een periode van 100 jaar. Bijvoorbeeld voor een grondoplossing moet rekening worden gehouden met de benodigde aanvullingen voor 100 jaar, zoals genoemd in de Factsheet HWBP LCC in Dijkversterking [31].

Het uitgangspunt is een gegarandeerde levensduur van ontwerp: BOI-waardig. Dat wil zeggen dat er op basis van de kennisontwikkeling tot nu toe geen twijfel is over de faalkans van de dijk tot einde van levensduur.

## 6.6. Uitbreidbaarheid

Het moet mogelijk zijn om het ontwerp verder uit te breiden indien einde levensduur (niet meer volledig voldoen aan de functie) is bereikt. De ontwerper mag alleen afwijken van het uitbreidbaarheidsprincipe als daar zwaarwegende argumenten voor zijn, bijvoorbeeld als de ontwerpkosten onevenredig hoog zijn in vergelijking met een niet-uitbreidbaar ontwerp. Dit hangt samen met de LCC-analyse, zoals beschreven in paragraaf 6.5. Een redelijke maat voor de uitbreidbaarheid is dat de toekomstige uitbreiding dezelfde orde van grootte heeft als de huidige dijkversterking.

## 6.7. Gevoeligheidsanalyse

Tijdens het ontwerpproces komt allerlei onzekerheid en variabiliteit aan het licht. Dit betreft bijvoorbeeld variatie in laagdikte of grondparameters of een gebrek aan gegevens op een bepaald gedeelte van de dijk. Met een gevoeligheidsanalyse kan worden bepaald of de variatie of onzekerheid op locaties dusdanig is dat deze bepalend is voor de opgave of het type van versterking. Maar ook nieuwe inzichten in sterktebepaling, zoals transitional soils en initieel onverzadigde dijksgrond bij macrostabiliteit of anisotropie en gelaagdheid bij piping, moeten met gevoeligheidsanalyses worden verkend. In een gevoeligheidsanalyse kan worden beoordeeld welke parameters of nieuwe inzichten bepalend kunnen zijn voor de opgave en op welke wijze deze met voldoende zekerheid aangetoond kunnen worden. Die aantoonbaarheid is een belangrijke voorwaarde voor de toepassing in de beoordeling of het ontwerp.



Het rapport POVM Actuele Sterkte [23] geeft een aantal handvatten voor het verkleinen van deze onzekerheden. Basis van de methode Actuele Sterkte is het verkleinen dan wel expliciet beschouwen en op maat afdekken van aanwezige onzekerheden in de beoordeling van de sterkte van een dijk. Deze beoordeling kan daarmee mogelijk worden aangescherpt, Dat kan met nader grondonderzoek, maar ook met de schematiseringen in de diverse rekenmodellen. Als laatste stap is probabilistisch rekenen een mogelijkheid die zich steeds meer ontwikkelt.

## 7. Belastingen

De dijk kent verschillende soorten van belastingen. De belangrijkste is de waterstand op de rivier. Deze belasting beïnvloedt het grondwatervolume zowel in het achterland als in de diepere lagen, en het verloop van de freatische lijn in de dijk. Verder ontstaat golfloop en golfoverslag door wind. Daarnaast zijn er ook verkeersbelasting en mogelijke belastingen door scheepvaart. Het moet rekening worden gehouden met de mogelijke schade aan de dijk door deze belastingen. Andere belastingen veroorzaken ook nog klink, zetting en bodemdaling van de dijk (zie hoofdstuk 8).

### 7.1. Hydraulische randvoorwaarden

De hoogwaterstanden worden voor de Nederrijn en Lekdijk gedomineerd door hoge rivierafvoer, waarin de afvoerverdeling over de Rijntakken en belangrijke rol speelt. Voor beide dijktrajecten 15-1 en 44-1 wordt uitgegaan van een maximale afvoer bij Lobith van 16.000 m<sup>3</sup>/s. Dit sluit aan bij de beleidsbeslissing Lek Ontzien, waarin is besloten dat de Lek bij hoge afvoeren boven de 16.000 m<sup>3</sup>/s volledig ontzien wordt. Dit geldt als uitgangspunt voor de ontwerpberoeeningen.

Omdat het in de praktijk lastig blijkt om de afvoerverdeling te realiseren bij extreem kleine kansen, wordt voor elk dijktraject het effect in beeld gebracht bij andere voorgestelde afvoerverdelingen. Dit wordt in een nieuwe beleidsbeslissing uitgewerkt. Mogelijk wordt uitgangspunt daar later op aangepast.

De hydraulische randvoorwaarden worden afgeleid met het programma Hydra-NL en de hiervoor beschikbare databases. De afleiding van de hydraulische randvoorwaarden voor de Nederrijn en Lek zijn beschreven in de twee documenten die zijn ontwikkeld door het OI, namelijk het Afleiden Hydraulische Ontwerpvoorwaarden in het Benedenrivierengebied (Traject 15) [35] en het Rekenrecept Afleiden Ontwerprandvoorwaarden Bovenrivieren Rijntakken met Hydra-NL (Traject 44) [36]. Voor zowel het benedenrivierengebied als voor het bovenrivierengebied zijn er twee databases beschikbaar en toepasbaar, zoals opgenomen in Tabel 7.1.

Tabel 7.1. Databases voor het traject 15-1 en 44-1

Traject	Databases
15-1	CR2011_BenR_Rijndombinnen_oever_a_15_v02 WBI2017_Benedenrijn_15-1_v04
44-1	DPa_Riv_Rijn_oever_2015_ref_S10_DM1p1p12_v01 WBI2017_Bovenrijn_44-1_v04

Voor het traject 15-1 wordt gerekend met de WBI-database. Voor het traject 44-1 wordt gerekend met de DPa-database met één uitvoerpunt per km. Voor de tussenliggende punten per 100 m wordt een inschatting gemaakt door vergelijking met de WBI-database,

Opgemerkt wordt dat de WBI-database uitvoerpunten per 100 m heeft. Door deze ook voor 2015 door te rekenen kan een inschatting gemaakt worden voor de toekomstverwachting van tussenliggende punten door het verschil tussen de WBI- en DPa-databases naar de toekomst door te trekken op basis van de berekeningen met de DPa databases voor het jaar 2050 en 2100.

### 7.2. Overslagdebiet

In de verkenningfase is binnen de deeltrajecten nog uitgegaan van een maximaal toelaatbaar overslagdebiet van 5 l/s/m. Zoals geadviseerd door HWBP dient de benodigde hoogte te worden bepaald niet alleen op basis van een vast overslagdebiet, maar met probabilistische berekeningen voor GEKB via Riskeer. Omdat een groot overslagdebiet gevolgen heeft voor andere toetsporen en ook beheermatig veranderingen veroorzaakt, wordt dit nog nader uitgewerkt (zie ook paragraaf 6.4 en hoofdstuk 11).

### 7.3. Val na hoogwater

De waterstand bij val na hoogwater is niet goed te bepalen met de waterstandverlooptool van het WBI. Zolang hiervoor geen goede afleiding voor is, wordt een val van 4 m aangehouden conform de POV Central Holland. Deze waarde kan onderbouwd verlaagd worden indien dit tot optimalisatie leidt.

### 7.4. Waterspanningen

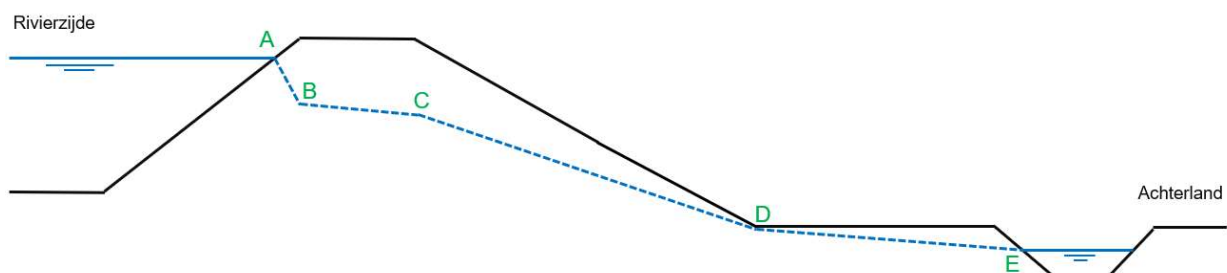
#### 7.4.1. Onverzadigde dijk

Voor de verschillende geotechnische faalmechanismen zijn verschillende belastingssituaties maatgevend voor het ontwerp. De situaties bestaan uit de combinaties van buitenwaterstand, golfoploop, overslagdebiet, waterniveau in het achterland, stijghoogterespons, verloop van de freatische lijn in de dijk en verkeersbelasting. In Tabel 7.2. zijn per faalmechanisme de aan te houden belastingssituaties beschreven.

Tabel 7.2. Aan te houden belastingssituaties

Toetsspoor	Belastingssituaties
Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ hydraulisch belastingniveau (HBN) behorend bij een bepaald kritiek overslagdebiet, rekening houdend met zetting en bodemdaling</li> <li>➤ lager belastingniveau behorend bij een hoger kritiek overslagdebiet (behorend bij een BGT)</li> </ul>
Piping (STPH)	waterstand bij norm (WBN), de waterstand kan binnendijks op het maaiveld staan tenzij dit vanuit waterbeheer niet mogelijk is
Macrostabieleit binnenwaarts (STBI)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ WBN zonder verkeersbelasting</li> <li>➤ significante overslag, waardoor het dijklichaam vezadigd raakt</li> <li>➤ lagere waterstand met hogere verkeersbelasting (behorend bij BGT)</li> <li>➤ lagere waterstand met een extreme neerslag: verhoogde freatische lijn</li> </ul> In alle situaties kan de waterstand binnendijks op polderpeil worden gehouden of op maaiveld staan
Macrostabieleit buitenwaarts (STBU)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ val na hoogwater: hoge freatische lijn en lage waterstand</li> <li>➤ extreem laag water: normale freatische lijn en extra lage waterstand (een laagwaterstand die eens per 10 jaar wordt onderschreden)</li> <li>➤ extreme neerslag: verhoogde freatische lijn en gemiddelde laagwaterstand (GLW)</li> <li>➤ met verkeersbelasting</li> </ul>
Gras erosie buitentalud (GEBU), overige bekledingen buitentalud	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ waterstand net onder norm (WBN) met golfoploop</li> <li>➤ lagere waterstand met grotere golfoploop</li> </ul>
Piping bij kunstwerk (PKW)	WBN en binnendijkse waterstand
Sterkte en stabiliteit kunstwerk (STKWp)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ WBN zonder verkeersbelasting</li> <li>➤ significante overslag</li> <li>➤ lagere waterstand met hogere verkeersbelasting (behorend bij BGT)</li> </ul>

De freatische lijn in het dijklichaam wordt geschematiseerd conform het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [33]. Voor een kleidijk is deze in Figuur 7.1 geschematiseerd. Voor dijken met een zandkern dient de freatische lijn geschematiseerd te worden volgens het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [33].



Figuur 7.1. Freatische lijn bij een kleidijk

Tabel 7.3. Niveaus freatische lijnen in ontwerpsituaties bij een kleidijk

Situatie	Buitentalud A	Buitenkruin B	Binnenkruin C	Binnenteen D	Achterland E
Extreem Hoog Water (STBI)	WBN <sup>1</sup>	WBN – 1,0 m	WBN – 1,5 m	Maaiveld	Maaiveld
Significante Overslag (STBI)	Waterstand <sup>2</sup> bij Overslag > 1 l/s/m	Kruin – 0,1 m	Kruin – 0,1 m	Maaiveld	Maaiveld
Extrem Neerslag (STBI)	GHW <sup>3</sup> (STBI)	GHW + 0,5 m	GHW + 0,5 m	Maaiveld	Maaiveld
Extrem Neerslag (STBU)	GLW <sup>3</sup> (STBU)	GHW + 0,5 m	GHW + 0,5 m	Maaiveld	Maaiveld
Val na Hoogwater (STBU)	WBN – 4,0 m <sup>4</sup>	WBN – 1,0 m	WBN – 1,5 m	Maaiveld	Maaiveld
Extreem Laag Water (STBU)	LW <sub>1/10</sub> jaar	Dagelijks <sup>5</sup>	Dagelijks	Maaiveld	Polderpeil
Andere BGT-situaties	Waterstand bij betreffende kans van voorkomen, X	X + 0.3 m tot maximaal WBN – 1,0 m	X + 0.3 m tot maximaal WBN – 1,0 m	Maaiveld	Maaiveld

<sup>1</sup> volgens het WBI2017  
<sup>2</sup> werkwijze conform de KPR Factsheet Werkwijze Macrostabieliteit i.c.m. Golfoverslag OI2014v4 [26]  
<sup>3</sup> conform het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [33]  
<sup>4</sup> conform de POV Centraal Holland [10]  
<sup>5</sup> te bepalen op basis van peilbuismetingen

Bij het ontbreken van meetwaarden gelden de algemene uitgangspunten zoals opgenomen in Tabel 7.3. Naast deze algemene schematisatie zijn er nog een aantal bijzondere waterspanningen in de kleilaag die worden veroorzaakt door de duur van een bepaalde belasting, zoals verzadiging bij overslag en indringing vanuit de diepere zandlaag. Hiervoor bestaat nog geen vaste wijze om deze af te leiden, mede omdat waterspanningen moeilijk meetbaar zijn en lokaal zeer verschillend kunnen zijn en interpolatie naar realistische waarden bij hoogwatersituaties van meerdere factoren afhankelijk is (zie de volgende paragrafen).

#### 7.4.2. Verzadigde dijk

Door overslag van water kan de dijk verzadigd raken. De mate waarin de dijk verzadigd raakt is nog een relatief onbekend verschijnsel. Naast het overslagdebiet zijn duur, golfhoogte, golflengte, taludhelling en structuurvorming in de dijk sterk van invloed op de mate van verzadiging. Bij een infiltratieproef aan de Hollandsche IJsseldijk zijn al sterk verhoogde waterspanningen gemeten bij een overslagdebiet kleiner dan 1 l/s/m. Bij andere schematisaties is arbitrair uitgegaan van begin van verzadiging bij 1 l/s/m en volledige verzadiging vanaf 10 l/s/m.

Bij het ontbreken van meetwaarden wordt uitgegaan van een verzadigde dijk vanaf een overslagdebiet van 1 l/s/m. Bij een verzadigde dijk wordt uitgegaan van een hydrostatisch verloop vanaf de ligging van 0,1 m onder het maaiveld (kruin en binnentalud) tot 1 m onder het maaiveld. Vanaf daar wordt geïnterpoleerd naar de freatische lijn behorende bij 1 l/s/m overslag bij onverzadigde situatie tot de grens van de invloed stijghoogte zandlaag en freatische lijn behorende bij startpunt infiltratie door overslag. De stijghoogte in het zand is gelijk aan de berekening bij de onverzadigde situatie.

#### 7.4.3. Indringingslengte

Als gevolg van een hoge stijghoogte zal in de onderzijde van de samendrukbare laag een toename van waterspanning ontstaan. Het niveau tot waar de stijghoogte invloed heeft op de waterspanningen wordt de indringingslengte genoemd. Het is dus de verticale afstand aan de onderzijde van de slecht doorlatende deklaag waarover de waterspanning in de deklaag verandert bij waterspanningsvariaties in de watervoerende zandlaag.

De mate van indringing van een hogere stijghoogte vanuit een watervoerende zandlaag naar de onderzijde van een relatief slecht doorlatende afdekkende klei- of veenlaag is van belang

voor de binnenwaartse macrostabiliteit. Door een analyse van de meetgegevens kan worden vastgesteld in welke mate een verandering van de waterspanning plaats vindt ter plaatse van de waterspanningsmeters gedurende een hoge buitenwaterstand. Deze metingen dienen dus plaats te vinden op momenten van normale en van verhoogde buitenwaterstanden. Als richtwaarden kunnen de waarden conform de Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit [19] worden toegepast.

#### 7.4.4. Peilbuisgegevens of responsanalyse

Met beschikbare peilbuisgegevens kan de responsfactor van de stijghoogte in het achterland ten gevolge van hoogwater worden afgeleid ten behoeve van de analyses voor macrostabiliteit binnenwaarts en piping. De responsfactor beschrijft de mate waarin de buitenwaterstand bij maatgevend hoogwater (de normwaterstand) de stijghoogte in het watervoerende pakket beïnvloedt. De responsfactor wordt bepaald aan de hand van de beschikbare peilbuismetingen in de binnenteen of het achterland van de dijk. Binnen de verkenningen is dit deels al gedaan. De methode hiervoor is beschreven in het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken [33].

In de respons wordt de volledige weerstand van het aanwezige (ondergelopen) voorland meegenomen. Hier ligt een relatie met de legger. Wanneer de legger minder voorlandbreedte beschermt, vereist dit een afweging tussen een aanpassing van de legger of het in rekening brengen van minder voorlandbreedte in het ontwerp. Hierbij kunnen de inzichten uit de POV Voorlanden behulpzaam zijn. Opgemerkt wordt dat deze afweging en eventuele aanpassing van de legger is een taak van de beheerafdeling.

### 7.5. Overige belastingen

#### 7.5.1. Verkeersbelasting

Bij de uiterste grenstoestand (UGT) mag er vanuit worden gegaan dat er geen verkeersbelasting op de dijk is. Bij stabiliteit buitenwaarts geldt wel verkeersbelasting conform de KPR Factsheet Verkeersbelasting en Macrostabiliteit [24]. In paragraaf 6.4 is de verkeersbelasting bij lagere maatgevende omstandigheden (BGT) beschreven.

#### 7.5.2. Aardbevingen

De dijk ligt niet in een Europese Macroseismische Schaal (EMS) zone, dus geen noemenswaardige intensiteit of gevolgen van bevingen te verwachten. Op de aanwezige breuken ligt circa 500 tot 600 m onverkit sediment. Het risico van aardbevingen wordt verwaarloosbaar geacht. In het ontwerp wordt dus geen rekening gehouden met aardbevingen.

#### 7.5.3. Ijsbelasting

Wanneer ijsvorming in combinatie met hoge waterstanden of zware golfaanval optreedt, kan dijkbekleding beschadigen, waardoor erosie kan optreden. In de huidige Nederlandse situatie wordt de kans op deze belastingcombinatie verwaarloosbaar geacht. In het ontwerp wordt geen rekening gehouden met ijsbelasting.

#### 7.5.4. Golfbelasting scheepvaart

Op veel plekken ligt de vaargeul ver van de dijk door de aanwezigheid van voorland. De golfbelasting door scheepvaart is op die plaatsen verwaarloosbaar. Op de dijkvakken met smal voorland of schaarlijkken speelt golfbelasting mogelijk wel een rol.

Onder 'normatieve' omstandigheden (hydraulische belastingen bij de norm) is er geen scheepvaart, is het uitgangspunt. Dat neemt niet weg dat hydraulische belasting op de waterkering door scheepvaart tijdens benedennormatieve omstandigheden toch maatgevend kan zijn, bijvoorbeeld ter plaatse van voorhavendijken, schaarlijkken, enzovoort. Daarom wordt rekening gehouden met belastingen uit scheepvaart (scheepsgolven en schroefstralen). Hierbij wordt uitgegaan van de scheepsklasse zoals gegeven in PDOK door Vaarweg Informatie Nederland. De scheepvaartbelastingen worden bepaald conform het Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het Rivierengebied [37].

#### 7.5.5. Aanvaringen en drijvende voorwerpen

Een aanvaring met een schip of een ander groot drijven voorwerp zal zelden voorkomen. In extreme omstandigheden mag er vanuit worden gegaan dat de scheepvaart wordt stilgelegd. Echter, tijdens een storm kan een schip stuurloos of op drift raken en de waterkering treffen. Dit is alleen een gevaar voor schaad dijken (bij normale waterstanden) en sluizen en voor dijken waar de maatgevende omstandigheden storm gedomineerd zijn. In het ontwerp wordt geen rekening gehouden met deze belasting.



## 8. Geometrie en ondergrond

---

### 8.1. Dijkvakindeling

Ieder project kent een dijkvakindeling als basis voor het ontwerp. De dijkvakindeling dient gebaseerd te zijn op:

- de grootte van de versterkingsopgave per faalmechanisme;
- geometrische kenmerken, zoals:
  - aanwezigheid en lengte van het voorland
  - aanwezigheid van de sloten, kleiputten, wielen, strangen, enz.
  - hoogte en steilheid dijkprofiel;
  - aanwezigheid van steun- of pipingbermen.
- type van bekleding;
- bestaande constructies in de dijk;
- richting van de normaal van de dijk
- polderpeilen (geohydrologische situatie);
- opbouw ondergrond.

Naast de bovengenoemde technische elementen dient ook te worden gekeken naar de bestaande inrichting, gebruiksfuncties, enzovoort. De dijkvakindeling dient in overleg met HDSR te worden vastgesteld en voor elke fase in de planuitwerking opnieuw te worden beschouwd.

### 8.2. Bronnen

Voor de technische elementen genoemd in paragraaf 8.1 zijn meerder bronnen beschikbaar binnen en buiten HDSR. Vanuit HDSR zijn de volgende gegevens beschikbaar:

- geometrie: AHN3 en deels beschikbare inmetingen, ontwerpprofielen uit de vorige dijkversterkingsronde (maar niet geheel compleet)
- grondopbouw: het grondonderzoek van Sterke Lekdijk is uitgewerkt in geotechnische lengteprofielen op de kruin en langs de binnen- en buitenteen. Ook van de vorige dijkversterkingsrondes zijn voor de grote delen van het traject de geotechnische lengte profielen beschikbaar. Meer gedetailleerde grondopbouw is te vinden in:
  - boringen en sonderingen uit de vorige dijkversterkingen (te zien op de geotechnische lengteprofielen);
  - boringen en sonderingen vanuit beheer;
  - boringen en sonderingen uit de POV Centraal Holland;
  - Grondonderzoek vanuit Sterke Lekdijk (boringen, sonderingen, HPT sonderingen, pomproef en geofysisch onderzoek)
- 3D-ondergrondmodel: veel van de grondopbouw is verwerkt in het 3D-ondergrondmodel. Bij het vaststellen van de dijkvakindeling dient ook gebruik gemaakt te worden van het 3D-ondergrondmodel. Hiermee kan een goede inschatting worden gemaakt van de uniformiteit van de ondergrond binnen het dijkprofiel, het voorkomen van zandbannen, geulafzettingen, en andere discontinuïteiten. Het 3D-ondergrondmodel is nu vooral ondersteunend bij het schematiseren van de ondergrond. Onzekerheid over het aantreffen van bepaalde grondlagen worden weergegeven. Deze onzekerheid kan worden meegenomen bij de schematiseringsfactor. Daarnaast geeft het een goede indicatie over discontinuïteiten in de ondergrond en kan het worden ingezet om daarvoor nader grondonderzoek te plannen.

### 8.3. Grondsoorten

In de Detailtoets voor de Dijkversterking Centraal Holland [9] zijn de volgende grondsoorten onderscheiden:

- dijksmateriaal, onverzadigde zone
- dijksmateriaal, verzadigde zone en klei zwaar (ook wel 'klei boven'), zandige en siltige klei met een met een volumiek gewicht hoger dan 17 kN/m<sup>3</sup>
- klei licht (ook wel 'klei onder')

- kleiig veen (ook wel 'klei organisch')
- veen
- zand

In de verkenningsfase zijn deze aangevuld of aangepast door lokale verschillen te bepalen en de invloed daarvan te analyseren via de berekeningen voor de veiligheidsopgave. De verschillen kunnen ook aanwezig zijn in het dwarsprofiel van de dijk met verschil in grondlagen onder en naast de dijk. Aanpassingen hierop moeten worden afgestemd met HDSR. Deze aanpassingen worden door HDSR bijgehouden en zijn zo nodig beschikbaar voor toepassen in andere deeltrajecten dan waarvoor ze bepaald zijn.

In de planuitwerkingsfase worden in elk geval de volgende grondsoorten aan toegevoegd:

- aanvulmateriaal (aanvulgrond)
- verharding en wegfundering

## 8.4. Grondparameters

In deze paragraaf is de te hanteren grondparameters of de wijze waarop de betreffende parameters moeten worden afgeleid beschreven.

### 8.4.1. Sterkteparameters macrostabiliteit

In de verkenningsfase zijn per deeltraject laboratoriumproeven uitgevoerd en sterkteparameters afgeleid. Daarbij is vaak gebruik gemaakt van zowel normaal geconsolideerde (NC) als overgeconsolideerde (OC) proeven. Per deeltraject is een proevenverzameling opgesteld met sterkteparameters. Hiervan moet gebruik worden gemaakt bij het opstellen of aanvullen van een proevenverzameling. Aanpassingen hierop moeten worden afgestemd met HDSR. Deze aanpassingen worden door HDSR bijgehouden.

Voor de verkenningsfase zijn berekeningen uitgevoerd op basis van deze proevenverzamelingen. Deze vormen de basis voor de verdere verkenningen en planuitwerking. Als aanvullend onderzoek of nieuwe inzichten leiden tot afwijkingen van deze parameters moeten deze verklaard kunnen worden. Ook combinaties van proevenverzamelingen kunnen worden beschouwd.

Voor de beoordeling van de bestaande situatie (zonder maatregelen van dijkverbetering) kunnen ook schuifsterkteparameters worden toegepast die enkel zijn gebaseerd op de uitgevoerde OC-proeven. Wanneer een dijkversterking wordt ontworpen met een hogere kruinhoogte of stabiliteitsbermen, moeten opnieuw parameters worden afgeleid waarbij ook de NC-proeven worden meegenomen.

Bij het afleiden van parameters dient per grondsoort rekening te worden gehouden met het volgende:

- dijksmateriaal in onverzadigde zone: uitgaan van gedraineerde schuifsterkte parameters (hoek van inwendige wrijving), conform de Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit [19].
- dijksmateriaal in verzadigde zone, klei zwaar met een volumiek gewicht hoger dan  $18 \text{ kN/m}^3$ :
  - dit materiaal kan sterke dilatantie vertonen bij ongedraineerd afschuiven in triaxiaalproeven, welke niet is gerelateerd aan de OCR. Bovendien is de OCR vaak niet eenduidig vast te stellen, als gevolg van een doorgaand gekromd verloop in samendrukkingsproeven. De SHANSEP methode kan daarom vanuit de theorie niet worden gebruikt om de schuifsterkte van dit type van klei te schematiseren. Indien de uitwerking volgens de SHANSEP methode tot afwijkende waarden leidt voor de schuifsterkte ratio (S) en sterkte-toename-exponent (m), dienen de sterkteparameters op een alternatieve manier te worden afgeleid. Hierbij moet de relatie tussen de ongedraineerde schuifsterkte uit OC-proeven en de effectieve verticale spanning worden beschouwd. Hieruit moet de karakteristieke ondergrenswaarde van de ongedraineerde schuifsterkte worden bepaald, conform de Review Laboratoriumproeven Sterke Lekdijk [38], waarin de aanpak voor het afleiden van de karakteristieke ondergrenswaarde van de ongedraineerde schuifsterkte voor deeltrajecten CUN en SAS is uitgewerkt.
  - mogelijk is er sprake van anisotropie in sterkte, waardoor de sterkte diverse zones van het glijvlak verschillen. De negatieve invloed hiervan is onder andere afhankelijk van de ligging van het maatgevend glijvlak. Dit moet worden bepaald door middel van een gevoeligheidsanalyse.

- klei: indien mogelijk onderscheid wordt gemaakt tussen lichte en zware klei. Deze laagscheiding moet dan ook te maken zijn op basis van de sonderingen of boringen, want anders zijn de resultaten ter plaatse van een onderzoeksraai niet door te vertalen. Het moet worden aangetoond dat het gedrag van de lichte klei volgens de SHANSEP methode is te beschrijven.
- veen: uitgaan van ongedraineerde sterkte parameters volgens de SHANSEP methode, conform de Schematiseringshandleiding Macrostabiteit [19].
- Aanvulgrond: een aanvulgrond kan bestaan uit verschillende materialen met verschillende eigenschappen. Dit kan bijvoorbeeld ook gebiedseigen grond zijn. In het ontwerp moeten de noodzakelijke parameters van deze gronden worden vastgesteld en moeten worden meegenomen in de ontwerpberekeningen.

#### 8.4.2. Grensspanning en POP voor macrostabiteit

De grensspanning en Pre-Overburden Pressure (POP) zijn een maat voor de belastinggeschiedenis van de grond. Wanneer de grensspanning relatief hoog is ten opzichte van de actuele effectieve verticale spanning (hoge overconsolidatieratio) dan is de grond relatief sterk gecompacteerd. Het poriënvolume van de grond is dan relatief klein in relatie tot de actuele effectieve verticale spanning.

POP heeft een groot effect op macrostabiteit. De waarde kan worden bepaald uit de sonderingen of lab-proeven. Een zo goed mogelijke benadering van de POP is een voorwaarde voor beoordeling en ontwerp. Als ondergrens dienen de waarden uit de Schematiseringshandleiding Macrostabiteit [19] te worden gehanteerd.

#### 8.4.3. Parameters EEM voor macrostabiteit

In het geval van constructief versterkte dijken zijn doorgaans EEM-analyses nodig voor de controle op de eisen aan stabiliteit en hoogte, zoals geformuleerd voor waterveiligheid. Deze paragraaf beschrijft de toe te passen constitutieve modellen voor grond van een constructief versterkte dijk.

##### *Soft Soil Creep (SSC) model*

Voor klei en veen wordt het materiaalgedrag in de eerste rekenstappen gemodelleerd met het SSC-model. Volgens de POVM PPE [40] worden lage karakteristieke waarden voor sterkte en stijfheid toegepast. Voor de lage karakteristieke stijfheid betekent dit hoge waarden voor  $\lambda^*$  (maagdelijke compressie),  $\kappa^*$  (ontlasten/herbelasten) en  $\mu^*$  (kruip). De  $K_0^{NC}$  (de verhouding tussen verandering van horizontale en verticale effectieve spanning bij maagdelijk belasten) is bepaald middels laboratoriumproeven. De SSC-parameters dienen te worden bepaald conform de POVM Eindige-Elementen Methode (PPE) [40]. In latere stappen wordt het gedrag van de klei en veen onder de freatische lijn gemodelleerd met het SHANSEP NGI-ADP model.

##### *Hardening Soil (HS) model*

Het gedrag van zand wordt gemodelleerd met het HS-model. Volgens de POVM Eindige-Elementen Methode (PPE) [40] geven lage karakteristieke waarden voor een verankerde wand bij alle uit te voeren toetsen een voldoende conservatieve benadering. Bij onverankerde wanden zou voor het maatgevend moment echter ook een hoge sterkte en stijfheid moeten worden beschouwd. De HS-parameters dienen te worden bepaald conform de POVM Eindige-Elementen Methode (PPE) [40].

##### *SHANSEP NGI-ADP model*

Conform de Schematiseringshandleiding Macrostabiteit [19] wordt bij het optreden van hoogwateromstandigheden (WBN) voor klei en veen overgestapt op het SHANSEP NGI-ADP model om daarmee ongedraineerd gedrag te beschrijven. Volgens de POVM Eindige-Elementen Methode (PPE) [40] worden voor het SHANSEP NGI-ADP model alleen lage karakteristieke waarden voor de sterkte en stijfheid toegepast. Een lage karakteristieke stijfheid betekent een lage karakteristieke waarde van  $G/s_u$  (de verhouding tussen glijdingsmodulus en ongedraineerde sterkte) en een hoge waarde voor de eveneens in te voeren schuifrek waarbij de maximale schuifsterkte wordt bereikt. Bij deze schuifrek maakt het SHANSEP NGI-ADP model onderscheid tussen triaxiaalcompressie (TC), direct simple shear (DSS) en triaxiaalextensie (TE). Oftewel een onderscheid tussen respectievelijk actief, neutraal en passief afschuiven. Het ongedraineerde gedrag van de klei en veen onder de freatische lijn wordt in de laatste rekenfasen gemodelleerd met SHANSEP NGI-ADP model. De SHANSEP-NGI parameters dienen te worden bepaald conform de POVM Eindige-Elementen Methode (PPE) [40].

#### 8.4.4. Parameters voor piping

De Schematiseringshandleiding Piping [18] geeft de relevante pipingsparameters weer. In Tabel 8.1 zijn de belangrijkste parameters voor het bepalen van de weerstand tegen piping en de benodigde pipingmaatregelen gegeven. Daarnaast zijn er nog onzekere factoren die worden uitgedrukt in een schematiseringsfactor en is er voortdurend kennisontwikkeling.

Tabel 8.1. Parameters piping

Laag	Parameters
Zandlaag watervoerend verbonden met rivier	$K_{zand}$ $D_{zand}$ $d_{70,zand}$
Deklaag	Lengte voorland (intredepunt) Weerstand deklaag voorland Dikte deklaag achterland Gewicht deklaag achterland Dempingsfactor (opbarsten) Uitredepunt

- doorlatendheid ( $K_{zand}$ ): de dikte de zandlagen kan worden bepaald op basis van de uitgevoerde grondonderzoeken. Hierbij dient ook het 3D-ondergrondmodel gebruikt te worden ter validatie van de te verwachte zandlaagdikte tussen onderzoekspunten (indien relevant, bijvoorbeeld in geval van zandbanen of maatwerklocaties). Voor de doorlatendheid wordt in eerste instantie uitgegaan van de doorlatendheid zoals bepaald in de Detailtoetsing A-Keringen van de Nederrijn- en Lekdijk [42] of het WBI-SOS. De karakteristieke waarden dienen te worden gebruikt. Deze parameters kunnen lokaal aangescherpt worden door aanvullend onderzoek.
- dikte zandlaag ( $D_{zand}$ ): de dikte van zandtussenlagen kan worden bepaald uit boringen en sonderingen. Voor de dikte van de diepere zandlaag wordt uitgegaan van de dikte zoals bepaald in de Detailtoetsing A-Keringen van de Nederrijn- en Lekdijk [42] of het WBI-SOS.
- $d_{70}$ -waarde: voor de  $d_{70}$ -waarde wordt uitgegaan van standaardwaarden uit het WBI-SOS. Aanvullend kunnen zeefanalyses worden uitgevoerd indien lokale afwijkingen een geheel andere waarde doen vermoeden. De toepassing hiervan kent echter de nodige beperkingen zodat dit altijd in overleg met HDSR moet worden vastgesteld.
- intredepunt en weerstand deklaag voorland wordt nader toegelicht in paragraaf 10.4.1.
- dikte van de deklaag achterland: de dikte van de deklaag achterland wordt bepaald uit boringen en sonderingen. Geofysisch onderzoek of het 3D-model kan inzicht geven in de eventuele variatie.
- gewicht deklaag achterland: volumiek gewicht wordt per grondsoort bepaald voor het gehele traject of per deelgebied. Omwille van de macrostabiliteitsberekeningen en de variëteit in gewicht en sterkteparameters wordt in de proevenverzameling onderscheid gemaakt tussen, onder andere, lichte en zware klei. Het onderscheid tussen deze kleisoorten is echter niet altijd af te lezen uit sonderingen en daardoor niet overal bekend op de locaties van de opbarstberekeningen. Als gewicht voor de klei in de deklaag kan daarom de karakteristieke waarde van het gemiddelde volumieke gewicht uit alle monsters van de deklaag van het desbetreffende dijktraject worden aangehouden. Bij veel variatie binnen een traject moet het traject hiervoor worden opgedeeld, waarbij de verzameling voldoende representatief moet zijn voor een deel.
- dempingsfactor (opbarsten): een dempingsfactor kan worden bepaald op basis van peilbuisanalyses (zie ook paragraaf 7.4.4)
- uitredepunt: het uitredepunt is de locatie waar de kwelstroom aan het maaiveld komt en dit wordt beschreven in paragraaf 10.4.3.

#### 8.4.5. Parameters voor bekleding

De belangrijkste parameters voor bekleding bestaan uit de opbouw en de bedekking van de toplaag en de weerstand tegen erosie van de onderlagen. De bekleding van de Nederrijn en Lekdijken bestaat voornamelijk uit gras. Verder komt nog steenbekleding voor en bestorting. Bij bredere voorlanden is de oever soms onverdedigd.

### Grasbekleding

- graskwaliteit: gesloten, open of fragmentarische zode, conform de Schematiseringshandleiding Grasbekleding [17]. Uitgangspunt is een open zode, ook als uit een eenmalige visuele inspectie blijkt dat een gesloten zode aanwezig is. De visuele inspectie die is uitgevoerd is altijd een momentopname. Na elke maaibeurt ontstaat er wel schade aan het grasgewas. Ook op andere manieren kan er schade ontstaan. Beheersmatig is de kwalificatie gesloten zode het streefbeeld, maar niet blijvend haalbaar. Aandachtspunt bij de beschrijving van de kwaliteit zijn taludhelling (toepassingsbereik), oneffenheden en NWO's.
- onderlaag: erosiebestendigheid dijksmateriaal, die wordt bepaald volgens de Prediction of the Erosion Velocity of a Slope of Clay due to Wave Attack [47]

### Steenzetting

- steen: hiervoor wordt verwezen naar de Schematiseringshandleiding Steenbekleding [20]
- onderlaag: opbouw filterlaag, erosiebestendigheid dijksmateriaal die wordt bepaald conform de Prediction of the Erosion Velocity of a Slope of Clay due to Wave Attack [47].

## 8.5. Bodemdaling en zetting

Bodemdaling is een natuurlijk proces door inklinking van de slappe bodemlagen in laag Nederland. Kruindaling treedt mede op door het gewicht van de dijk zelf, klink en zijdelings uitzakken van de grond. Zettingen treden op door samendrukking van de ondergrond door het aanbrengen van extra gewicht. Voor de kruindaling van de dijk zijn waarden afgeleid met behulp van TerraSAR-X satellietmetingen en vervolgens verdeeld in klassen op basis van gemiddelde waarden. Voor de aan te houden waarde wordt de bovengrens gehanteerd:

- 0-2 mm/jaar, aan te houden waarde is 2 mm/jaar;
- 2-4 mm/jaar, aan te houden waarde is 4 mm/jaar;
- 4-7 mm/jaar, aan te houden waarde is 7 mm/jaar;
- meer dan 7 mm/jaar, aan te houden waarde is 10 mm/jaar.

Dit is vooral bodemdaling en geen zetting, omdat de vrijwel alle dijkvakken geen recente verhogingen en of aanvullingen hebben gehad. Uitzonderingen zijn bij beheer van HDSR bekend.

De bodemdaling speelt vooral een rol bij het bepalen van de ontwerpgegevens voor hoogte en stabiliteit. Op basis van de historische kruindaling en de aanwezigheid van slappe lagen in het achterland, samen met de bodemdalingskaart (Bodemdalingskaart\_2.0) kan per locatie een prognose gedaan voor de toekomstige bodemdaling van het achterland.

Omdat meetwaarden lokaal kunnen afwijken, kan op locaties waar een hoogteopgave lastig is in te passen, in overleg met HDSR gebruikt worden gemaakt van puntmetingen op de betreffende locaties in plaats van de hierboven genoemde indelingen.

Bij ophogingen in de uit te voeren maatregelen in de dijkversterking treedt zetting op. Het uitgangspunt is, dat de bodemdaling en restzettingen na aanleg gedurende de levensduur volledig worden verdisconteerd in de aanleghoogte. Hiervoor wordt verwezen naar de Leidraad voor het Ontwerpen van Rivierdijken, Deel 2: Benedenrivierengebied [46]. De parameters zijn in overleg met HDSR te bepalen.

## 9. Macrostabiliiteit

### 9.1. Schuifsterktemodel en software

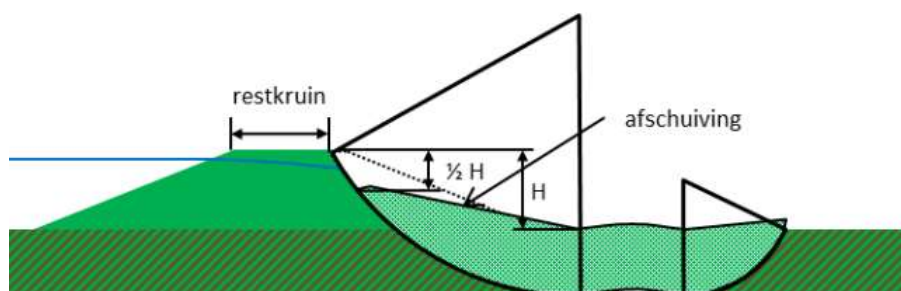
Conform het WBI2017 is het Critical State Soil Mechanics (CSSM) model en de Stress History and Normalized Soil Engineering Properties (SHANSEP) methode van toepassing voor het karakteriseren van het gedrag van de grond voor een dijk. Er dient onderscheid te worden gemaakt tussen gedraineerd grondgedrag en ongedraineerd grondgedrag. Bij grondsoorten met een hoge doorlatendheid, zoals zand, is sprake van gedraineerd grondgedrag. Bij grondsoorten met een lage doorlatendheid, zoals klei en veen, is sprake van ongedraineerd grondgedrag.

Opgemerkt wordt dat zandige klei en siltige klei met hoge volumegewichten (tussen 17 en 18 kN/m<sup>3</sup>), ander gedrag blijken bij ongedraineerd afschuiven te vertonen dan klei met lagere volumegewichten. Er is sprake van sterk dilatant gedrag, ongeacht de mate van overconsolidatie en vaak ook bij normaal geconsolideerde condities. Dit gedrag komt niet overeen met wat op basis van het CSSM model en de SHANSEP methode, maar wordt 'transitional soils' gedrag genoemd.

Voor een dijk zonder constructieve versterking (groene dijk) dient de software D-Geo SUITE Stability of D-Stability (project versie) te worden gebruikt om het gedrag van de grond te modelleren. Het voordeel van de toepassing van D-Stability ten opzichte van de huidige versie van D-Geo SUITE Stability is de mogelijkheden om de belasting (buitenwaterstand) stochastisch te modelleren. Om de schuifsterkte te bepalen wordt het Mohr-Coulomb model ( $\phi'$ , zonder cohesie) toegepast voor gedraineerde lagen en het SHANSEP model (S en m) voor ongedraineerde lagen. De ongedraineerde schuifsterkte van transitional soil wordt verkregen in door het toepassen van Su-Table. Voor het berekenen van de macrostabiliiteit wordt gebruik gemaakt van glijvlakanalyses volgens de methode Uplift-Van. De wijze waarop de analyse moet worden uitgevoerd staat beschreven in de Schematiseringshandleiding Macrostabiliiteit [19].

### 9.2. Faalpadanalyse

Enkele glijvlakken die leiden tot overstroming dienen te worden beschouwd. In eerste instantie betekent dit alle glijvlakken die insnijden in het buitentalud of in de kruin. Als hier ondiepe, oppervlakkige glijvlakken uitkomen dienen deze nader beschouwd te worden met een restbreedtebenadering. Dit geldt enkel voor de situatie met een beperkte golfoverslag of overslag die kleiner dan 1 l/s/m is.



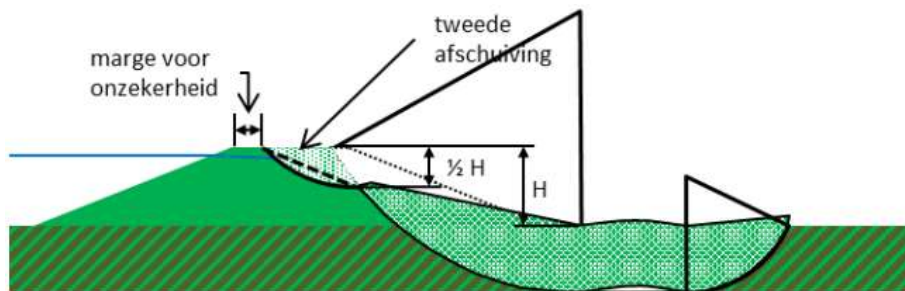
Figuur 9.1. Initiële afschuiving

Bij een verzadigde dijk zijn namelijk ook kleine glijvlakken maatgevend in verband met terugschrijdende erosie die plaats kan vinden. Dit is nader uitgewerkt in de KPR Factsheet Afweging ter Bepaling Glijvlak voor Faalmechanisme Macrostabiliiteit [25] en het Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken [33].

Indien de analyse van macrostabiliiteit met significante golfoverslag wordt uitgevoerd (verzadigde dijk), dient de werkwijze conform de KPR Factsheet Werkwijze Macrostabiliiteit i.c.m. Golfoverslag OI2014v4 [26] te worden toegepast, rekening houdend met erosie na een kleine afschuiving.



Daarnaast dient zowel de diepe glijvlakken als de ondiepe glijvlakken met de minimum diepte van 1 m te worden onderzocht om het maatgevende glijvlak te bepalen.



Figuur 9.2. Tweede afschuiving

### 9.3. Partiele factoren

Binnen het WBI2017 zijn er drie typen partiële veiligheidsfactoren, namelijk de modelfactoren, materiaalfactoren en schadefactoren. De eerste twee factoren zijn onafhankelijk van de vereiste betrouwbaarheid. De schadefactor is gekoppeld aan de faalkanseis. De schematiseringsonzekerheden worden afgedekt door het gebruik van ondergrondscenario's en andere scenario's.

#### 9.3.1. Modelfactor

De modelfactor wordt overgenomen uit de Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit [19]. De waarden zijn aangegeven in Tabel 9.1.

Tabel 9.1. Modelfactoren

Schuifvlakmodel	Modelfactor
Uplift-Van	1,06
Spencer - Van der Meij	1,07
Bishop	1,11

#### 9.3.2. Materiaalfactor

De materiaalfactor wordt overgenomen uit de Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit [19]. De waarden zijn gegeven in Tabel 9.2.

Tabel 9.2. Materiaalfactoren

Parameter	Symbol	Eenheid	Materiaalfactor
Ongedraineerde schuifsterkte ratio	S	-	1,0
Sterkte toename exponent	m	-	1,0
Grensspanning	$\sigma'_{vy}$	kPa	1,0
Ongedraineerde schuifsterkte	$s_u$	kPa	1,0
Hoek van inwendige wrijving	$\varphi'$	°	1,0

#### 9.3.3. Schematiseringsfactor

Bij het beoordelen van de veiligheid van een waterkering wordt rekening gehouden met onzekerheden. Voor diverse continu variërende parameters wordt de onzekerheid in rekening gebracht door uit te gaan van karakteristieke waarden bij de semi-probabilistische berekeningen of door de spreiding in rekening te brengen in een probabilistische beoordeling. Voor andere onderdelen van de schematisatie waarbij sprake is van wezenlijk verschillende situaties wordt de onzekerheid in rekening gebracht met scenario's.

Conform het WBI2017 worden scenario's in de eerste plaats toegepast om onzekerheden in de opbouw van de ondergrond en het dijklichaam in rekening te brengen. Verschillende scenario's voor de opbouw van de ondergrond impliceren ook een verschillende schematisering van de waterspanning voor deze ondergrondscenario's. Voor alle combinaties van dijkprofiel en scenario's

wordt de stabiliteitsfactor en de faalkans berekend. De berekende gesommeerde faalkans moet kleiner zijn dan de faalkanseis.

Bij het opstellen van de scenario's moet ook de kans van aantreffen van elk scenario worden vastgesteld. Dit moet worden bepaald op basis van onderzoek of op basis van een inschatting die veelal subjectief kan zijn. Het is van belang dat denkbare scenario's worden meegenomen in een analyse van de macrostabiliteit van een waterkering. De som van de kansen voor de scenario's moet altijd 1,0 zijn.

De schematiseringsfactor dient per dijkvak te worden bepaald. Omdat de schematiseringsfactor afhangt van de initiële wijze van schematisatie, dient deze vooraf te worden afgestemd met HDSR.

#### 9.4. Schematisatie

Bij de schematisatie wordt onderscheid gemaakt tussen de verschillende dijksdelen, namelijk kruin, teen, voorland en achterland. Tussen de grondlagen uit het grondonderzoek van de kruin, de teen, het voorland en het achterland heerst namelijk onzekerheid over het precieze verloop daarvan. Ter plaatse van de binnentalud wordt een verticale laagscheiding op  $2H/3$  van de binnenkruinlijn of  $H/3$  van de teenlijn aangebracht. Hierbij is  $H$  de horizontale afstand tussen binnenkruin en binnenteen. Deze schematisering geldt ook ter plaatse van de buitentalud. Indien sprake is van een berm wordt alleen het gedeelte boven de berm meegenomen in de afstandsbeplanning.

#### 9.5. Macrostabiliteit buitenwaarts

Voor macrostabiliteit buitenwaarts (STBU) wordt gebruik gemaakt van de parameters die ook gelden voor macrostabiliteit binnenwaarts. Stabiliteit buitenwaarts betreft een indirect mechanisme, doordat stabiliteitsverlies wordt veroorzaakt door een (snel) dalende waterstand en overstroming pas dreigt bij een tweede hoogwater of het ontstaan van glijvlakken tot voorbij de binnenkruin. Daarmee is rekening gehouden door het aanhouden van een factor 10 grotere faalkanseis volgens de Bijlage III Sterkte en Veiligheid Regeling Primaire Waterkeringen [16].

Conform de memo Rode Draad Overstroming door Macrostabiliteit [29] kan buitenwaartse macro-instabiliteit alleen optreden bij een voldoende hoge buitenwaterstand na het optreden van de buitenwaartse afschuiving en wanneer de ontstane schade nog niet is hersteld tot overstroming leiden. De kritieke situatie voor macrostabiliteit buitenwaarts (STBU) is dus niet een hoge waterstand aan de buitenzijde van de waterkering, maar juist een lage waterstand in combinatie met een hoge grondwaterstand. Er zijn drie verschillende belastingssituaties voor STBU conform het Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het Rivierengebied [37]:

- een buitenwaterstand na een snelle val in combinatie met een verhoogde freatische lijn ten gevolge van een voorafgaand hoogwater;
- een gemiddelde laagwaterstand (GLW) van buitenwater in combinatie met een verhoogde freatische lijn ten gevolge van extreme neerslag;
- een laagwaterstand die eens per 10 jaar wordt onderschreden ( $LW_{1/10 \text{ jaar}}$ ) in combinatie met een normale freatische lijn in de dijk.

Bij elk van de genoemde belastingssituaties kan de vraag worden gesteld wat de kans is op het optreden van hoogwater na het ontstaan van een buitenwaartse taludafschuiving als gevolg van het optreden van één van de genoemde belastingssituaties en de benodigde tijd voor het uitvoeren van herstelwerkzaamheden. Aanbevolen wordt dit bij de analyse van de resultaten van de beoordeling in de overwegingen te betrekken. Aanscherping hierin is mogelijk door uit te gaan van de kans van optreden van een diep glijvlak en de benodigde tijd voor het uitvoeren van herstelwerkzaamheden, conform de KPR Factsheet Omgang met Buitenwaartse Macrostabiliteit [27].

Omdat de kans dat verschillende belastingen gelijktijdig een zeer ongunstige waarde zitten vaak klein is, wordt voor STBU geadviseerd om de verkeersbelasting op basis van beheersmaatregelen (herstelwerkzaamheden) te hanteren. Bij een hoogwater wordt daarom geen rekening gehouden met een verkeersbelasting. Na het hoogwater zal het gebied langzaam worden vrijgegeven. Daarom kan de afweging worden gemaakt dat de verkeersbelasting naar een lagere niveau wordt bijgesteld, bijvoorbeeld 8 kPa.

# 10. Piping

---

## 10.1. Rekenmodel en software

Het mechanisme piping bestaat uit drie deelmechanismen. Deze drie deelmechanismen moeten optreden om falen door piping te kunnen veroorzaken. Dit zijn eerst opbarsten, gevolgd door heave, waarna piping (terugschrijdende erosie) kan optreden. Hieronder volgt een korte beschrijving van de gehanteerde modellen, ontleend aan de Bijlage III Sterkte en Veiligheid Regeling Primaire Waterkeringen [16].

De controle op opbarsten vindt plaats door het optredende stijghoogteverschil over de deklaag ter plaatse van het uittredepunt ( $\Delta\phi$ ) te vergelijken met het kritieke stijghoogteverschil over de deklaag ( $\Delta\phi_{c,u}$ ). De controle op heave vindt plaats door de optredende heave gradiënt over de deklaag ( $i$ ) te vergelijken met de kritieke heave gradiënt ( $i_{c,h}$ ).

De weerstand tegen het faalmechanisme piping wordt bepaald met het aangepaste rekenmodel van Sellmeijer. Dit rekenmodel kan worden toegepast met een analytische formule. De controle op piping vindt plaats door het optredende verval over de waterkering ( $\Delta H$ ) te vergelijken met het kritieke verval ( $\Delta H_c$ ).

De belasting wordt bepaald met HydraNL 2.7.1 met WBI databases. Voor gedetailleerde analyse dient de software D-GeoFlow te worden toegepast.

## 10.2. Faalpadanalyse

In de memo Rode Draad Overstroming door Piping [28] staat de keten van gebeurtenissen overstroming door piping beschreven. Voordat piping tot een doorbraak leidt moeten verschillende gebeurtenissen optreden. Door deze keten te beschouwen en de gevoeligheid van parameters hierin op te nemen kan worden beoordeeld welke parameters relevant zijn voor de opgave. Deze kunnen dan mogelijk door aanvullend onderzoek worden aangescherpt (zie paragraaf 6.7).

De rode draad geeft ook aan welke kennisleemtes er nog zijn. Nog niet alles is door onderzoek voldoende te onderbouwen, maar verwacht wordt dat op een aantal aspecten zodanig aanscherping mogelijk is dat piping uiteindelijk niet zal leiden tot falen op delen van de Lekdijk. Daarvoor passen we de beslisboom piping toe die wordt uitgewerkt binnen bijvoorbeeld het deeltraject SAS (paragraaf 10.5).

## 10.3. Partiele factoren

De schematiseringsfactoren voor piping, opbarsten, en heave dienen op basis van beta-afhankelijke veiligheidsfactoren afgeleid te worden. Bij het OI is hiervoor een rekensheet beschikbaar gesteld welke toegepast dient te worden.

## 10.4. Schematisatie

### 10.4.1. Intredeweerstand voorland

Kleiafdekking in het voorland moet een minimale dikte hebben van 1 m in een niet verstoorde zone. De maximale lengte (haaks op de dijk) van de kleiafdekking in het voorland die meegerekend mag worden bedraagt de helft van de totale kwelweglengte.

Van de rekenregels kan lokaal beargumenteerd van worden afgeweken.

- bij dunne deklagen in het voorland nabij de teen kan gebruik worden gemaakt van D-GeoFlow voor het bepalen van de waterstand waarbij de pipe evenwicht bereikt voor het bereiken van een potentiële kortsluitingslocatie (veelal nabij de teen);

- bij dikke deklagen (deklaag onafgebroken meer dan 1 m dik beneden de gemiddelde grondwaterstand bestaand uit klei) kan de aanwezige kwelweglengte groter zijn dan 2x de afstand tussen het uittredepunt en de buitenteen van de dijk.

Het toepassen van deze afwijkingen op de rekenregels moet worden afgestemd met de beheerafdeling van HDSR. Dit vanwege de toekomstbestendigheid van deze laag (kans op afgraven).

Indien er onvoldoende inzicht is in de weerstand van het voorland en aanvullende monitoring van grondwaterstanden tot een andere opgave kan leiden, kan dit reden zijn de beslisboom in te zetten.

#### 10.4.2. Waterspanningen en responsfactor

De responsfactor speelt een belangrijke rol bij de deelmechanismen opbarsten en heave. Bij Sterke Lekdijk worden peilbuismetingen verricht. In paragraaf 7.4.4 staat de methode waarmee op basis van peilbuismetingen de responsfactor kan worden bepaald.

#### 10.4.3. Uittredepunt

Het uittredepunt ligt vaak op natuurlijke wijze vast, bijvoorbeeld wanneer de sloot achter een dijk tot in de betreffende zandlaag reikt, of wanneer de zandlaag tot aan het maaiveld reikt. In het geval een afdekkende laag aanwezig is, die opbarstgevoelig is, wordt als uittredepunt de opbarstlocatie gekozen. Zie hiervoor de Schematiseringshandleiding Piping [18].

Het maatgevende uittredepunt ligt in het algemeen bij de binnenteen, indien het binnendijkse maaiveld horizontaal is. Bij een aflopend of onregelmatig maaiveld kan het uittredepunt verder van de dijk liggen, ter plaatse van een lokale laagte, of een sloot of kolk. Het is niet altijd meteen duidelijk waar het uittredepunt zich bevindt en bovendien hangt dit ook nog af van de locatie waar opbarsten plaatsvindt. Bij twijfel dient voor meerdere uittredepunt de toets uitgevoerd te worden door het toevoegen van extra rekenscenario's.

#### 10.4.4. Overige aspecten

Voor de overige te schematiseren aspecten wordt verwezen naar de Schematiseringshandleiding Piping [18].

### 10.5. Beslisboom piping

Voor Sterke Lekdijk wordt een beslisboom piping uitgewerkt binnen het deeltraject SAS. De beslisboom geeft duidelijkheid of voor dijkvakken die niet aan de norm voldoen de versterking uitgesteld kan worden. De beslisboom geldt na vaststelling als uitgangspunt voor alle deeltrajecten. Moment van vaststellen is nog onbekend.

# 11. Bekledingen

---

## 11.1. Rekenmodel en software

### 11.1.1. Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)

Het binnentalud van een dijk faalt als een bepaald kritiek overslagdebiet wordt overschreden. Dit kritieke debiet wordt in hoofdzaak bepaald door de helling van het binnentalud, de kwaliteit van de grasmat en de kwaliteit van de onderliggende kleilaag. Hierbij gaat het niet om het debiet dat leidt tot het begin van schade aan de bekleding, maar het debiet waarbij falen optreedt. In een analyse wordt het kritieke debiet vergeleken met het optredende debiet, wat in hoofdzaak wordt bepaald door de hydraulische randvoorwaarden, de buitentaludhelling en de toegepaste waakhoogte (het verschil tussen de ontwerpwaterstand en de kruinhoogte).

Het te hanteren rekenmodel is de cumulatieve overbelastingbenadering. De optredende stroomsnelheden per overslaande golf worden vergeleken met kritieke stroomsnelheden. Ook het aantal overslaande golven speelt een rol.

De minimaal vereiste hoogte kan worden bepaald op basis van de kritieke overslagdebieten zoals genoemd in de Bijlage III Sterkte en Veiligheid Regeling Primaire Waterkeringen [16] of met een probabilistische analyse in Riskeer. Een probabilistische analyse leidt veelal tot een scherper ontwerp.

Bij de ontwerpkeuzes dient rekening te worden gehouden met de eisen die gelden voor de BGT (zie paragraaf 6.4) en faalmechanismen die gevoelig zijn voor het overslagdebiet, zoals STBI en GABI.

De toe te passen software is HydraNL 2.7.1 of Riskeer (met WBI databases).

### 11.1.2. Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI)

*De ontwerpprincipes zijn op het moment van schrijven onderwerp van gesprek met het Adviesteam Dijkontwerp (ATD) en worden bij een volgende versie van de Strategische Nota van Uitgangspunten toegevoegd.*

### 11.1.3. Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)

Het faalmechanisme GEBU bestaat uit twee mechanismen, namelijk erosie van de grasbekleding door golfploop en erosie van de grasbekleding en onderliggende kleilagen door golfklappen. Het deel van het (ontwerp)buitentalud dat in de golfploopzone ligt wordt gecontroleerd op het mechanisme golfploop. Het deel van het (ontwerp)buitentalud dat in de golfklapzone ligt wordt gecontroleerd op het mechanisme golfklap. Daarbij is het niveau van de overgang van een eventuele harde bekleding naar de grasbekleding van belang (zie ook paragraaf 11.3.3).

De toe te passen software is Basismodule Gras Buitentalud. De belasting wordt bepaald met HydraNL 2.7.1. en WBI databases, rekening houdend met scheve inval van de golven volgens de Schematiseringshandleiding Grasbekleding [17]. Voor het bepalen van golfhoogten op voorland wordt verwezen naar het antwoord op de Helpdeskvraag [48].

Betreffende kleiondergrond wordt de methode van reststerkte toegepast conform de Prediction of the Erosion Velocity of a Slope of Clay duet to Wave Attack [47].

### 11.1.4. Steenzetting

De steenzetting faalt wanneer een kritieke golfbelasting wordt overschreden. Bij het ontwerp wordt gecontroleerd of de ontwerp-golfbelasting de kritieke golfbelasting overschrijdt.

Toe te passen software is Steentoets 19.1.1. De belasting wordt bepaald met HydraNL 2.7.1 en WBI databases.

### 11.1.5. Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU)

Grasbekleding, afschuiven buitentalud betreft het bezwijken van de bekleding (kleilaag) op een zandkern of -scheg. Feitelijk gaat het om stabiliteitsverlies van de kleilaag (door overdruk bij een terugtrekkende golf) en niet om erosie. Bij dijken met een kleikern, zoals veelal het geval is bij de primaire waterkeringen bij HDSR, is dit mechanisme niet aan de orde. Daarom wordt voor dit mechanisme volstaan met een verwijzing naar de Schematiseringshandleiding Grasbekleding [17].

Een aandachtspunt vormt de aanwezigheid van eventuele zandscheggen onder de kleibekleding.

## 11.2. Faalpadanalyse

### 11.2.1. GEKB

Het faalproces van de waterkering bij erosie van de kruin en het binnentalud bij golfoverslag is in de Bijlage III Sterkte en Veiligheid Regeling Primaire Waterkeringen [16] beschreven. Hieronder is dit proces samengevat.

- overslaande golven veroorzaken wisselende waterdruk op het binnentalud waardoor de grasbekleding kan eroderen. De wortelmat scheurt ergens waardoor ineens een stuk van de zode uit de bekleding loskomt;
- na het falen van de grasbekleding, zal het onderliggende materiaal verder eroderen. Een erosiekuil kan verder verdiepen en zich stroomopwaarts uitbreiden;
- uiteindelijk kan dit leiden tot een profiel dat lager is dan de buitenwaterstand en bresvorming. Het is afhankelijk van het onderliggende materiaal en de plek waar de grasbekleding faalt hoelang dit proces in beslag neemt en of dit nog voldoende reststerkte heeft om bresvorming te voorkomen.

Bij de beoordeling ligt de faaldefinitie voor de gedetailleerde toets bij het doorberekenen van de doorwortelde top laag met een dikte van ongeveer 0,2 m; de sterkte van de lagen daaronder wordt niet in rekening gebracht. Bij kleidijken kan het een ontwerpafweging zijn de faaldefinitie 'op te rekken' en meer schade toe te staan of reststerkte in rekening als dit tot substantiële besparingen leidt. Hierbij is het van belang rekening te houden met de BGT-eisen zoals verwoord in paragraaf 6.4.

### 11.2.2. GABI

*De ontwerpprincipes zijn op het moment van schrijven onderwerp van gesprek met het Adviesteam Dijkontwerp (ATD) en worden bij een volgende versie van de Strategische Nota van Uitgangspunten toegevoegd.*

### 11.2.3. GEBU

Het faalproces van de waterkering bij erosie van de grasbekleding op het buitentalud golfoverslag is in de Bijlage III Sterkte en Veiligheid Regeling Primaire Waterkeringen [16] beschreven. Hieronder is dit proces samengevat en stapsgewijs is weergegeven voor achtereenvolgens de golfklapzone en golfploopzone.

#### *Algemeen*

Een met gras bekleed talud dat wordt blootgesteld aan golven zal als eerste falen in de golfklapzone, want de golfklapbelasting is maatgevend boven de golfploopbelasting.

#### *Erosie door golfklappen*

- golfklappen op het buitentalud beschadigen de zode door de drukpuls van de golfklap en de overdruk in en onder de zode na wegvallen van de drukpuls;
- na het ontstaan van het gat in de graszode wordt de dijk aangesproken op erosie-sterkte van de onderliggende laag waarbij een 'terras' (flauw talud) onder de waterlijn en een steile wand bij de insteek van de erosiekuil ontstaan;
- nadat de onderlagen zijn geërodeerd, volgt de dijk kern. Uiteindelijk kan dit leiden tot een profiel dat lager is dan de buitenwaterstand en bresvorming. Het is afhankelijk van het onderliggende materiaal en de plek waar de grasbekleding faalt hoelang dit proces in beslag neemt en of dit nog voldoende reststerkte heeft om bresvorming te voorkomen.



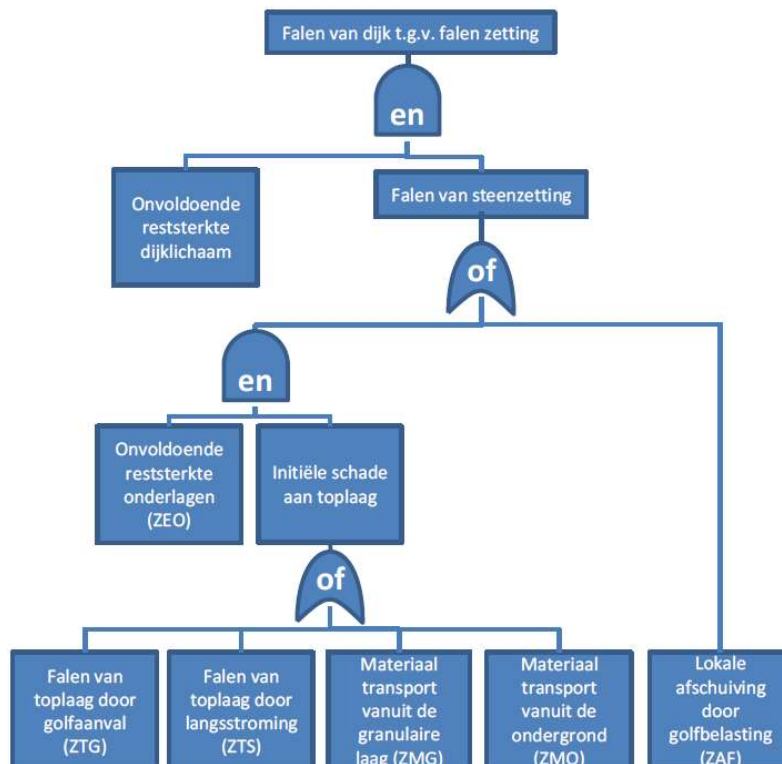
Bij de beoordeling ligt de faaldefinitie voor de gedetailleerde toets bij het eroderen van 0,5 m kleilaagdikte; de sterkte van de lagen daaronder wordt niet in rekening gebracht. Bij kleidijken kan het een ontwerpafweging zijn de faaldefinitie 'op te rekken' en meer schade toe te staan of reststerkte in rekening als dit tot substantiële besparingen leidt. Hierbij is het van belang rekening te houden met de BGT-eisen zoals verwoord in paragraaf 6.4.

#### Erosie door golfoploop en -neerloop

- de stroming van de oplopende en neergaande golftong is turbulent, waardoor de graszode wordt onderworpen aan een snel wisselende waterdruk die de grasbekleding beschadigen;
- falen van de grasbekleding ten gevolge van erosie door golfoploop wordt gedefinieerd als het moment waarop de sterk doorwortelde toplaag met een dikte van circa 0,2 m lokaal wordt doorbroken en de erosie van de onderlaag begint (faaldefinitie);
- na het falen van de grasbekleding kan de erosie van de onderlagen en de dijk kern uiteindelijk leiden tot kruindaling en uiteindelijk tot falen van de dijk. Dit is de reststerkte van de dijk na falen van de grasbekleding.

#### 11.2.4. Steenzetting

Het faalproces van de steenbekleding en waterkering bestaat uit verschillende initiële (deel)mechanismen conform de Bijlage III Sterkte en Veiligheid Regeling Primaire Waterkeringen [16]. In Figuur 11.1 is dit proces samengevat en stapsgewijs weergegeven.



Figuur 11.1. Foutenboom falen waterkering als gevolg van bezwijken steenzetting

Bij het ontwerp wordt conform de Bijlage III Sterkte en Veiligheid Regeling Primaire Waterkeringen [16] geadviseerd om geen rekening te houden met de reststerkte, tenzij er zwaarwegende economische redenen zijn. Opgemerkt wordt dat bij de beoordeling van de steenzetting wel rekening wordt gehouden met reststerkte.

#### 11.2.5. GABU

Zie paragraaf 11.1.5.

## 11.3. Schematisatie

### 11.3.1. GEKB

De schematisatie van GEKB spelen de volgende aspecten een rol:

- belasting: voorland, dammen, geometrie en ruwheid buitentalud. Schematisatie volgens de Schematisering Hydraulische Condities bij de Dijkteen [21].
- sterkte:
  - kwaliteit van de grasbekleding, uitgedrukt in een kansverdeling van het kritieke overslagdebiet. Daarbij wordt een 'open zode' gehanteerd. Hoewel het beheer gericht is op het realiseren van een 'gesloten zode' kan dit niet gegarandeerd worden (zie ook paragraaf 8.4.5).
  - de onderlagen voor het in rekening brengen van reststerkte. Schematiseringen volgens de Prediction of the Erosion Velocity of a Slope of Clay duet to Wave Attack [47].
  - overgangen (bijvoorbeeld bij NWO's en kunstwerken). Schematiseren volgens de Schematiseringshandleiding Grasbekleding [17]. Opgemerkt wordt dat bij het ontwerpen van overgangen bij kunstwerken en NWO's eveneens rekening moet worden gehouden met de notities uit de schematiseringshandleiding.

### 11.3.2. GABI

*De ontwerpprincipes zijn op het moment van schrijven onderwerp van gesprek met het Adviesteam Dijkontwerp (ATD) en worden bij een volgende versie van de Strategische Nota van Uitgangspunten toegevoegd.*

### 11.3.3. GEBU

Bij de schematisatie van GEBU spelen de volgende aspecten een rol:

- belasting:
  - voorland, dammen, geometrie en ruwheid buitentalud. Schematisatie volgens de Schematisering Hydraulische Condities bij de Dijkteen [21].
  - waterstandverloop, golfrichting, significante golfhoogte en spectrale golfperiode volgens de Schematiseringshandleiding Grasbekleding [17].
- sterkte:
  - kwaliteit van de grasbekleding, uitgedrukt in een kritieke stroomsnelheid. Daarbij wordt een 'open zode' gehanteerd. Hoewel het beheer gericht is op het realiseren van een 'gesloten zode' kan dit niet gegarandeerd worden (zie ook paragraaf 8.4.5). Een en ander volgens de Schematiseringshandleiding Grasbekleding [17].
  - overgangen (bijvoorbeeld bij NWO's en kunstwerken). Schematiseren volgens de Schematiseringshandleiding Grasbekleding [17]. Opgemerkt wordt dat bij het ontwerpen van overgangen bij kunstwerken en NWO's eveneens rekening moet worden gehouden met de notities uit de schematiseringshandleiding.

Voor het bepalen van het niveau overgang harde bekleding naar grasbekleding wordt verwezen naar de Bijlage III Sterkte en Veiligheid Regeling Primaire Waterkeringen [16].

### 11.3.4. Steenzetting

Bij de schematisatie van de steenzetting in het ontwerp is volgens de Schematiseringshandleiding Steenzetting [20]. Daarbij wordt aangemerkt dat in het ontwerp geen rekening wordt gehouden met reststerkte.

### 11.3.5. GABU

Zie paragraaf 11.1.5.

## 12. Langsconstructie

---

Dit hoofdstuk beschrijft de uitgangspunten die wordt gehanteerd voor de dijkvakken waar een langsconstructie wordt aangebracht of gecontroleerd. Als uitgangspunt geldt dat een constructie een stabiliteitsverhogende functie in de dijk heeft als het falen van het constructieve element zelf leidt tot het afkeuren van de dijk op het faalmechanisme macrostabiliteit, zoals beschreven in de POVM Langsconstructies (PPL) [39]. Onder langsconstructies vallen zowel de zelfstandig waterkerende constructie (Type I) als de stabiliteitsverhogende constructie (Type II). De werkwijze waarmee de berekeningen dienen te worden uitgevoerd is in details in het Werkprotocol Langsconstructies Sterke Lekdijk [42] beschreven.

In dit hoofdstuk wordt alleen het faalmechanisme macrostabiliteit beschreven. Omdat langsconstructies lastig uitbreidbaar of vervangbaar zijn, worden ze meestal ontworpen voor een periode van 100 jaar. Het moet rekening worden gehouden met de veranderingen die tijdens de ontwerplevensduur in het dijkprofiel kunnen optreden. Dat wil zeggen: eigen gewicht, verkeersbelasting, stijghoogteverandering en autonome bodemdaling. Tevens is een oplegbare constructie mogelijk nodig om inpassingsproblemen met een dijk zonder constructieve versterking (groene dijk) die voor 50 jaar op hoogte voldoet. In de berekening is (indien zelfstandig waterkerende constructie) rekening gehouden dat de constructie na een levensduur van 100 jaar nog voldoet op de hoogte.

### 12.1. Algemene ontwerpaspecten

#### 12.1.1. Veiligheidsfilosofie

Voor alle mechanismen wordt voor het ontwerp gerekend met de veiligheidsfilosofie conform de Waterwet. Deze geldt voor zowel buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) als binnenwaartse macrostabiliteit (STBI). De maximaal toelaatbare overstromingskans op het normtraject 15-1 en 44-1 is 1/10.000 per jaar.

#### 12.1.2. Bodemopbouw

De bodemopbouw wordt overgenomen uit de macrostabiliteitssommen (semi-probabilistische analyse) van een groene dijk. In het begin mag de bodemdaling fictief bij de waterstand worden opgeteld. Omdat de bodemdaling bijvoorbeeld de ankerstaaf zal beïnvloeden dient de bodemdaling later te worden verwerkt in de geometrie en bodemlagen met de kruipfase.

#### 12.1.3. Zelfstandig kerende constructie (Type I)

Bij een zelfstandig kerende constructie wordt uitgegaan van een constructie in de kruin van een dijk. Dit kan in de vorm van een kistdam of enkel damwand. Een zelfstandig kerende constructie is een type constructie die zowel aan de sterkte- en hoogte eisen dient te voldoen conform de norm. Deze type constructies dient robuust te worden ontworpen dat het afschuiven van het talud niet tot falen leidt. Daarom volgt hier ook de eis dat de constructie moet worden voldaan aan de hoogte-eis. Meestal is een kistdam in een dijk opgebouwd uit twee evenwijdige stalen damwandschermen, die onderling door ankers worden gekoppeld.

#### 12.1.4. Stabiliteitsscherm (Type II)

Een stabiliteitsscherm is een maatregel om de stabiliteit binnen- of buitenwaarts te verhogen. Het verschil met een zelfstandig kerende constructie is dat de oplossing alleen binnen- of alleen buitenwaarts de stabiliteit verhoogt en samen met het grondlichaam de waterveiligheid waarborgt. Zodoende kan een scherm in de teen van het talud (bij de afwezigheid van een stabiliteitsberm) of in de teen van het talud van de stabiliteitsberm worden geplaatst. Indien de overslagsituatie wordt maatgevend, kan het scherm afhankelijk van de taludhelling hoger in het talud komen. De constructie haalt zijn sterkte vanuit de inklemming van de damwandplank, maar kan ook worden versterkt door het toepassen van een verankering.

### 12.1.5. Corrosie

De damwanden zullen gedurende de levensduur corroderen. Dit heeft tot gevolg dat de dikte en de sterkte van de plank over de levensduur langzaam afnemen. De corrosiereductie van de damwand wordt bepaald conform het rapport Afronding Onderzoek Vermindering Corrosietoelag Damwanden [43]. Indien er situaties zijn waarbij de damwand in direct contact staat met het water zal worden overgegaan op de CUR166 Damwandconstructies [44]. Voor de veilige benadering kan de maatgevende reductietoelag over de gehele plank worden toegepast en dus geen differentiatie over de diepte. Voor de restlevensduur van (in principe) 100 jaar wordt uitgegaan van een corrosiereductie van 2.2 mm per zijde.

## 12.2. Rekenmodel en software

Om de interactie tussen grond en constructie te modelleren wordt de software PLAXIS 2D gebruikt. De relevante constitutieve modellen zijn het Hardening Soil (HS) model, het Soft Soil Creep (SSC) model, en het SHANSEP NGI-ADP model (zie paragraaf 8.4.3). De achtergrond van elk model is in details beschreven in het rapport POVM Eindige-Elementen Methode (PPE) [40].

## 12.3. Stijfheden

Tabel 12.1, overgenomen uit de PPE, geeft aan hoe met de stijfheid moet worden omgegaan.

Tabel 12.1. Stijfheid van de grond in de rekenfasering PPL

	Aan te Houden Stijfheid Grond	
	Verankerde Constructie	Onverankerde Constructie
<b>Vervormingstiets (Fase 1 t/m 4):</b>		
Alle grondlagen	Lage stijfheid	Lage stijfheid
<b>Constructieve toets (Fase 1 t/m 5)</b>		
Grondlagen waar inklemming wordt bereikt	Lage stijfheid	Hoge stijfheid
Overige grondlagen	Lage stijfheid	Lage stijfheid

## 12.4. Belastingssituaties

Tabel 12.2. Belastingssituaties

Situatie	Omschrijving	Buitenwaterstand en Stijghoogte	Polderpeil	Verkeersbelasting
B1	STBU Extreem Neerslag	Gemiddeld	Zomer	13.3 kPa
B2	STBU Extreem Laagwater	Laagwater	Zomer	13.3 kPa
B3	STBU Val van Hoogwater	Val	Maaiveld	8 kPa
B4	STBI Extreem Neerslag	Gemiddeld	Zomer	13.3 kPa
B5	STBI Extreem Hoogwater	Hoogwater	Maaiveld	-
B6	STBI Extreem Overslag	Hoogwater	Maaiveld	-

Tabel 12.2 laat de belastingssituaties zien. Opgemerkt wordt dat de toetsing van de buitenwaartse stabiliteit niet plaatsvindt bij een binnenwaarts-scherm, omdat de stabiliteitsverhogende constructie alleen effect heeft op de binnenwaartse stabiliteit. De toetsing op de buitenwaartse stabiliteit wordt dan uitgevoerd conform het spoor macrostabiliteit, waarbij de insteek van het glijvlak mogelijk door de damwand wordt gelimiteerd. Afhankelijk van het overslagdebiet is de situatie B5 of B6 maatgevend voor binnenwaartse stabiliteit. Indien het overslagdebiet hier lager is dan 1 l/s/m volstaat alleen B5. Anders dient zowel B5 als B6 te worden uitgewerkt.

Een zelfstandig kerende constructie heeft daarentegen een invloed op zowel de binnen- als de buitenwaartse stabiliteit. Hierbij is de situatie B3 maatgevend. Indien een restprofiel benadering nodig is, dient de waterstand hierop te worden afgestemd. Voor binnenwaartse stabiliteit volstaat alleen B5 indien de overslag onder de 1 l/s/m blijft. Anders dient zowel B5 als B6 ook te worden uitgewerkt.

## 12.5. Restprofiel

In het ontwerp zal bij de constructies worden uitgegaan dat er onder dagelijkse omstandigheden aan beide zijden grond tegen de constructie aanligt. Conform de PPL wordt er in het ontwerp rekening gehouden met het afschuiven van een talud aan de passieve zijde.

Voor de situatie hoogwater wordt voor het restprofiel aan de binnenwaartse zijde uitgegaan van het horizontaal doorlopen van het laagste punt aan de binnenzijde (een ongunstiger restprofiel) indien de overslag hoger dan 1 l/s/m is (belastingssituatie B6). Indien de overslag lager dan 1 l/s/m is (belastingssituatie B5), mag een gunstiger restprofiel worden aangehouden. Hierbij kan worden aangesloten bij de adviezen omtrent erotiekuilen uit POVM. Opgemerkt wordt dat B6 mag voldoen aan een lagere faalkanseis vanwege de kans van optreden van de overslag hoger dan 1 l/s/m. Uiteindelijk zal B5 of B6 bepalend zijn voor de dimensionering.

Het talud aan de buitenwaartse zijde kan ook afschuiven, maar tijdens de extreme neerslag en extreem laagwater is er geen waterstroming in de uiterwaarden. Daarom wordt hier van uitgegaan dat er nog wel een deel van het talud blijft staan. De leidraden schrijven in deze situaties voor om het talud te reduceren tot 1/3 van de oorspronkelijke hoogte. Voor het maatgevend hoogwater wordt uitgegaan dat als gevolg van de rivierstroming in de uiterwaarden het gehele talud kan wegspoelen en wordt gerekend met een horizontaal vlak.

In de situaties dat er wordt gerekend met een restprofiel, wordt er dus impliciet uitgegaan dat er afschuiving plaats vindt en het talud dus 2/3 van de hoogte verliest. Dit afschuiven houdt tevens in dat door het afschuiven de kritieke sterkte van de grond is overschreden. Daarom wordt de sterkte gereduceerd tot de sterkte van 70% van de critical state sterkte. Als gevolg van de schematisering met het restprofiel kan opbarsten optreden. Indien dit het geval is, volgt dit uit de PLAXIS berekening. De schematisering van het restprofiel benadering met de bijbehorende freatische lijn voor zowel zelfstandig kerende constructie als stabiliteitsscherm mag worden overgenomen uit het Werkprotocol Langsconstructies onstructies Sterke Lekdijk [42]

## 12.6. Proces van berekeningen

Om aan te tonen dat de oplossing aansluit bij dezelfde principes als de met D-Stability berekende grondoplossingen, wordt als de eerste stap een groene dijk in PLAXIS gemodelleerd. Het glijvlak en berekende stabiliteitsfactor uit de beide software moeten vergelijkbaar zijn. Conform het rapport POVM Rekentechnieken Basisrapport Eindige-Elementen Methode [41] moeten de verschillen in stabiliteitsfactor beperkt blijven tot maximaal 6% en wordt daarmee de modelschematisering in PLAXIS kan worden gevalideerd.

Voor de langsconstructies is het proces van de berekeningen op te delen in drie stappen: (1) opstellen profiel groene dijk in D-Stability, (2) opstellen profiel groene dijk in PLAXIS, en (3) berekening constructie conform de PPL. In het Werkprotocol Langsconstructies Sterke Lekdijk [42] is de werkwijze van berekeningen voor elke stappen beschreven.

## 12.7. Rekenstappen PPL

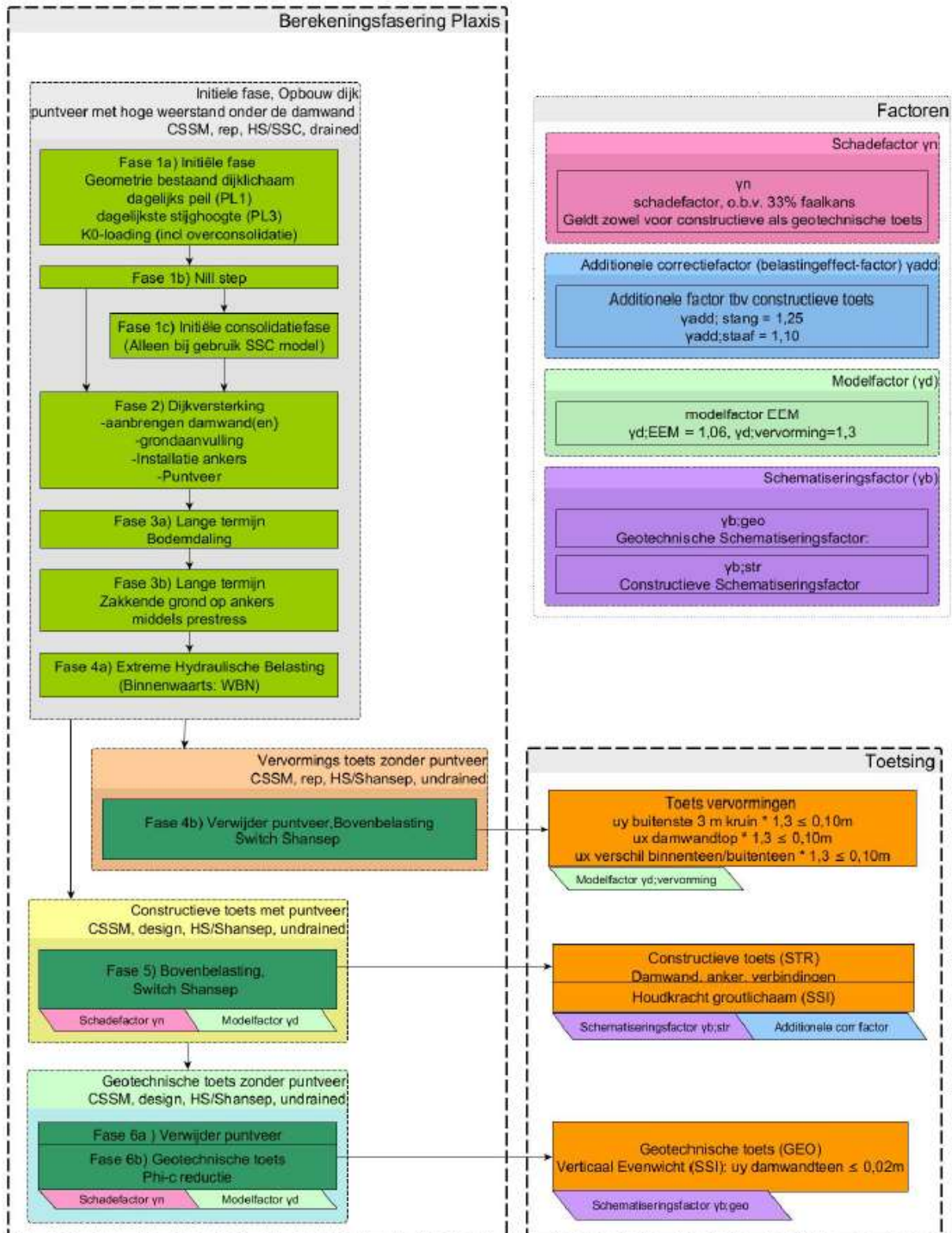
Voor het berekenen van vervormingen en stabiliteit en het daarbij bepalen van krachten in een verankerde stabiliteitsscherm zijn de volgende EEM-rekenstappen nodig:

1. bestaande situatie bij dagelijkse omstandigheden;
2. toevoegen van de constructie en van eventuele ophogingen nadien;
3. in rekening brengen van de inklinking van slappe lagen na installatie van de constructie, voor wat betreft het effect op de krachten en momenten;
4. aanbrengen van de hoogwaterbelasting en eventueel ook van verkeersbelasting, gevolgd door het berekenen van de daarmee gepaard gaande vervormingen;
5. berekening van momenten en krachten bij hoogwater en verkeersbelasting
6. controle van stabiliteit bij hoogwater en verkeersbelasting.

De stappen zijn op hoofdlijnen ook van toepassing voor een zelfstandig kerende constructie.



Hierna volgt een uitwerking per stap, waarin ook de toepassing van de verschillende partiële factoren wordt beschreven. Figuur 12.1, overgenomen uit de PPE, toont een stroomdiagram voor een PPL berekening.



Figuur 12.1. Rekenfasering PPL



## 13. Kunstwerken

---

Kunstwerken dienen te worden ontworpen volgens H17 tot en met H20 van de Bijlage III Sterkte en Veiligheid Regeling Primaire Waterkeringen [16].

## 14. Overige mechanismen

---

Overige mechanismen zijn in de (voor)verkenning niet maatgevend of niet van toepassing gebleken. In de rapportages over de veiligheidsopgave dient dat te worden benoemd. Voor de volledigheid wordt hiervoor verwezen naar de Bijlage III Sterkte en Veiligheid van de Regeling Primaire Waterkeringen [16] en de bijbehorende schematiseringshandleidingen.

### 14.1. Microstabiliteit

Een uitzondering hierop vormt microstabiliteit bij dijken met zandkern (voorhavendijken en verlegde Lekdijk bij Schoonhoven).

### 14.2. Voorlanden

Voor de voorlanden geldt dat deze bij voldoende stabiliteit juist kunnen bijdragen aan de dijkveiligheid.

### 14.3. NWO's

Bepalend voor NWO's nieuw of handhaven bestaat is dat deze geen afbreuk doen aan de sterkte van oplossingsrichtingen. Dat kan bijvoorbeeld worden beschouwd via een faalpadenanalyse. Dit betekent dat bijvoorbeeld obstakels in de grasmat op taluds erosiebestendig worden afgewerkt, zodat ze minimaal de (benodigde) sterkte van de grasmat hebben.

## 15. Innovaties

---

Voor zover innovaties buiten de uitgangspunten in deze strategische nota van uitgangspuntenvallen moeten in overleg met HDSR de volgende technische vragen worden beantwoord:

- kan het werken en kunnen we dat aantonen, m.a.w. doet het wat het moet doen? (de activiteit)
- kunnen we het maken en beheren? (de haalbaarheid en toepasbaarheid)

Hiervoor wordt ook verwezen naar voorbeelden die staan in de Bijlage D van de Handreiking Innovaties Waterkeringen [32]. Beoordeling is volgens de Bijlage III Sterkte en Veiligheid van de Regeling Primaire Waterkeringen [16].

## Referenties

---

- [1] [Startdocument Project Sterke Lekdijk](#)
- [2] [Planologische Kernbeslissing Ruimte voor de Rivier](#)
- [3] [Beleidslijn Grote Rivieren](#)
- [4] Rivierkundig Beoordelingskader voor Ingrepen in de Grote Rivieren, Versie 5.0, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Juni 2019.
- [5] Mogelijke Gevolgen van Versnelde Zeespiegelstijging voor het Deltaprogramma, Deltares, September 2018.
- [6] [Programmaplan Sterke Lekdijk](#)
- [7] [Motie van het Algemeen Bestuur](#)
- [8] [Werkwijzer Projecten van HDSR](#)
- [9] [Detailtoets voor de Dijkversterking Centraal Holland](#)
- [10] Veiligheidsanalyse Centraal Holland – Aanscherping Toetsresultaat Noordelijke Lekdijken en Voormalige C-Keringen, POV Centraal Holland, Juni 2017.
- [11] Achtergrondrapport Ontwerpinstrumentarium 2014, Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, December 2013.
- [12] Handreiking Ontwerpen met Overstromingskansen – Veiligheidsfactoren en Belastingen bij Nieuwe Overstromingskansnormen (OI2014v4), Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Februari 2017,
- [13] [Klanteisen Specificatie \(KES\)](#)
- [14] [Veilig Werken op Locaties Waterbeheer](#)
- [15] Richtlijn 92/57/EEG van de Raad van de Europese Gemeenschappen, Juni 1992
- [16] Bijlage III Regeling Veiligheid Primaire Waterkeringen 2017, Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- [17] Schematiseringshandleiding Grasbekleding – WBI2017, Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, November 2019.
- [18] Schematiseringshandleiding Piping – WBI2017, Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, November 2019.
- [19] Schematiseringshandleiding Macrostabieleit – WBI2017, Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, November 2019.
- [20] Schematiseringshandleiding Steenzetting – WBI2017, Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, November 2019.
- [21] Schematisering Hydraulische Condities bij de Dijkteen – WBI2017, Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, November 2019.
- [22] [POV Macrostabieleit, Matrix UGT-BGT, Versie 6](#)
- [23] POV Macrostabieleit Actuele Sterkte, Juni 2020.
- [24] Kennisplatform Risicobenadering Factsheet – Verkeersbelasting en Macrostabieleit, Juli 2016.
- [25] Kennisplatform Risicobenadering Factsheet – Afweging ter Bepaling Glijvlak voor Faalmechanisme Macrostabieleit, December 2018.
- [26] Kennisplatform Risicobenadering Factsheet – Werkwijze Macrostabieleit i.c.m. Golfoverslag OI2014v4, Maart 2018.
- [27] Kennisplatform Risicobenadering Factsheet – Omgang met Buitenwaartse Macrostabieleit, Maart 2018.
- [28] Memo Rode Draad Overstroming door Piping. HWBP, December 2020.
- [29] Memo Rode Draad Overstroming door Macrostabieleit. HWBP, Februari 2021.
- [30] [Waterverordening Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, 2009.](#)
- [31] [Factsheet HWBP LCC in Dijkversterking, September 2016.](#)
- [32] Handreiking Innovaties Waterkeringen. HWBP, November 2016.
- [33] Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken. TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, September 2004.
- [34] Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken, Gedetailleerde en Geavanceerde Methoden voor de Beoordeling van de Macrostabieleit Binnewaarts, ENW Expertisenetwerk Waterveiligheid, Maart 2009.
- [35] [Afleiden Hydraulische Ontwerpvoorwaarden in het Benedenriviereengebied \(Traject 15\), Juli 2017.](#)

- [36] [Rekenrecept Afleiden Ontwerprandvoorwaarden Bovenrivieren Rijntakken met Hydra-NL \(Traject 44\), September 2017.](#)
- [37] Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het Rivierengebied. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, ENW – Expertise Netwerk Waterkeren, Juli 2007,
- [38] Review Laboratoriumproeven Sterke Lekdijk, Deltares. Kenmerk 11205452-002-GEO-0001. Mei 2020.
- [39] POVM Langsconstructies (PPL). Een Publicatie van de POV Macrostablieit, Maart 2020.
- [40] POVM Eindige-Elementenmethode (PPE). Een Publicatie van de POV Macrostablieit, Maart 2020
- [41] POVM Rekentechnieken – Basisrapport Eindige-Elementen Methode, Versie 1.0, Januari 2018.
- [42] Werkprotocol Langsconstructies voor Sterke Lekdijk. HDSR, September 2020.
- [43] Afronding Onderzoek Vermindering Corrosietoelag Damwanden. Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu, December 2015.
- [44] CUR 166 Damwandconstructies, Deel 1 en 2 (6<sup>e</sup> druk), SBRCURnet, Juli 2012.
- [45] [Detailtoetsing A-Keringen van de Nederrijn- en Lekdijk. HDSR.](#)
- [46] Leidraad voor het Ontwerpen van Rivierdijken, Deel 2: Benedenrivierengebied. TAW Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, September 1989.
- [47] Prediction of the Erosion Velocity of a Slope of Clay due to Wave Attack – WT12017. Deltares Rapport 1209437-017, Januari 2015.
- [48] [Antwoord op de Helpdeskvraag Nummer 19111228.](#)