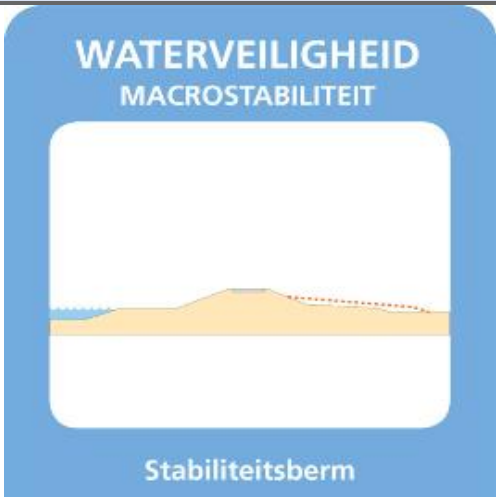
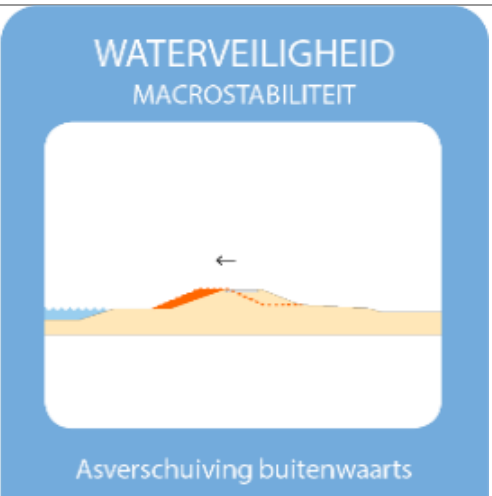


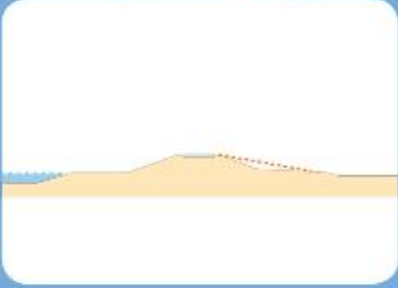
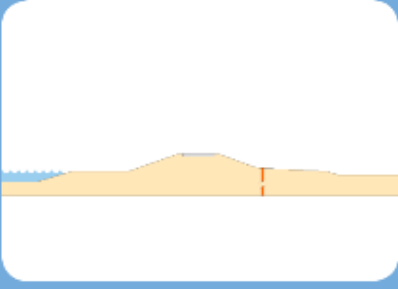
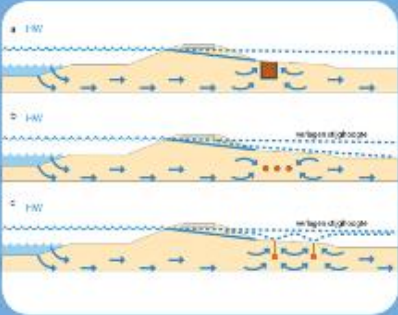
Bijlagen

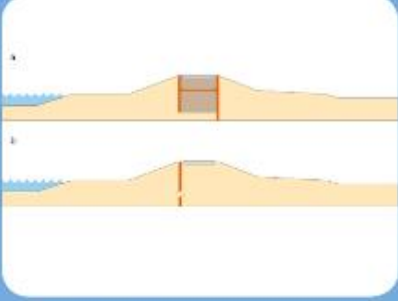
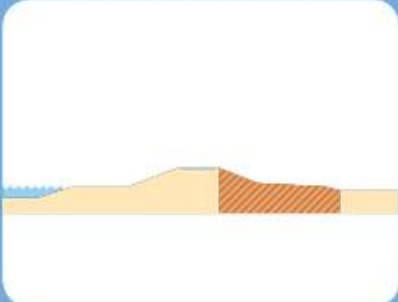
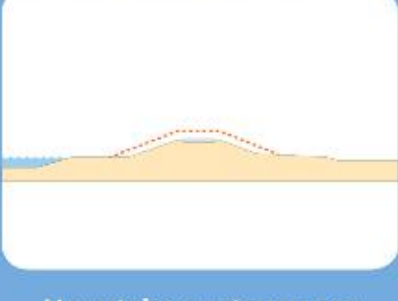
Bijlage 1 Overzicht bouwstenen

Onderstaand een overzicht van de verschillende bouwstenen per faalmechanisme met een toelichting.

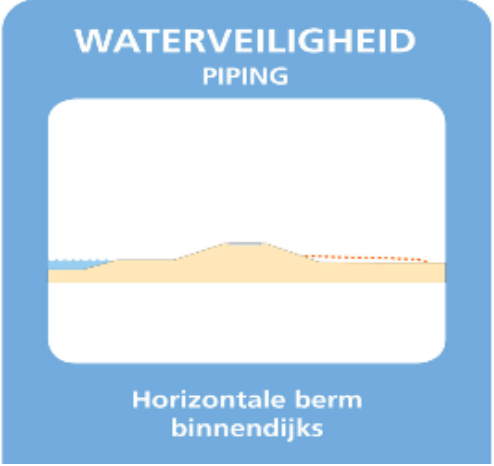
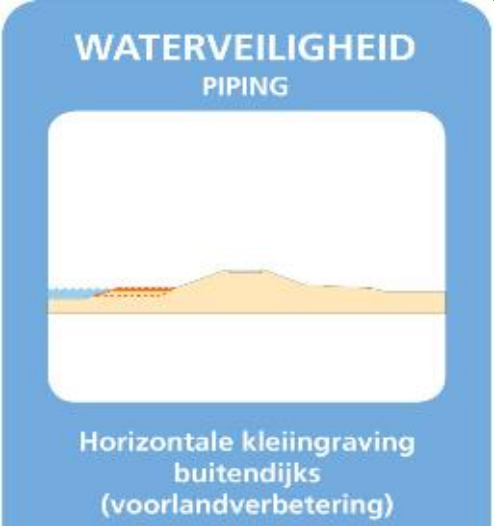
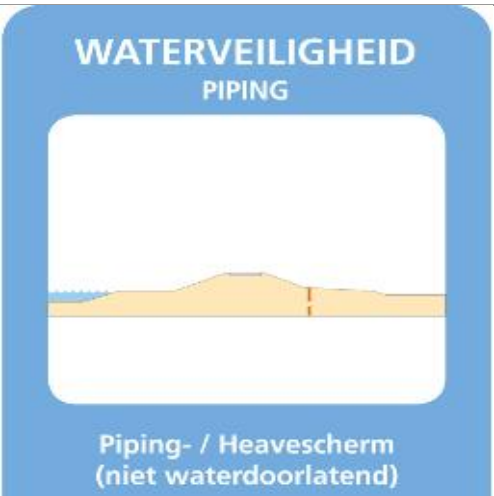
Macrostabieliteit binnenwaarts bouwstenen

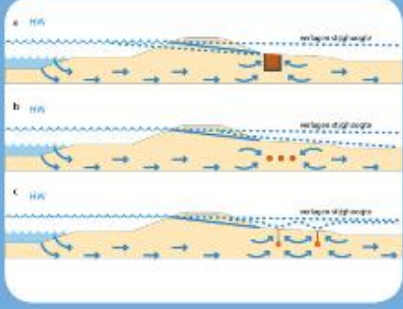
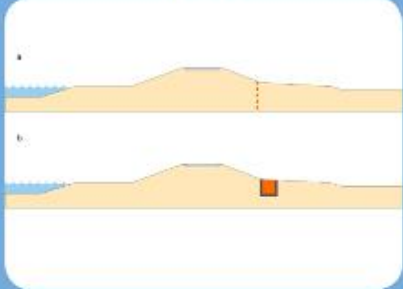
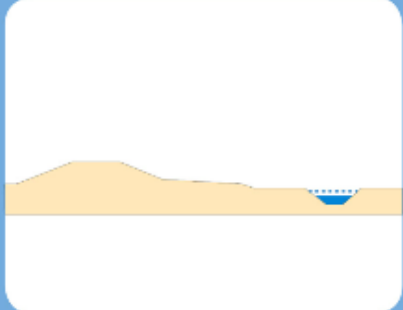
Bouwsteen		Beschrijving
Stabiliteitsberm (M1)		Het doel van een stabiliteitsberm is het voorkomen van het binnenwaarts afschuiven van de dijk. Aan de binnenzijde van de dijk wordt grond aangebracht om voldoende tegendruk te bieden tegen de waterdruk aan de buitenzijde van de dijk bij hoogwater. De bredere basis maakt de dijk stabiel. Binnen deze bouwsteen kan ook een aanvullende taludverflauwing (M3) aan de binnenzijde plaatsvinden tegen het faalmechanisme macrostabieliteit binnenwaarts in de verzadigde situatie.
Asverschuiving buitenwaarts (door stabiliteitsberm of bredere dijk) (M2)		Bij de asverschuiving buitenwaarts wordt de dijk vanaf de huidige binnenteen naar buiten toe versterkt. Het doel is (net als bij M1a) het voorkomen van het binnenwaarts afschuiven van de dijk. Vanaf de binnenteen wordt een stabiliteitsberm aangelegd of verlengd, waarbij de kruin van de huidige dijk naar buiten toe verplaatst. Een variant hierop is dat de huidige kruin behouden blijft en buitenwaarts wordt verbreed.

Taludverflauwing binnendijks (M3)	WATERVEILIGHEID MACROSTABILITEIT  Taludverflauwing binnendijks	Het doel van een taludverflauwing binnendijks is het voorkomen van het binnenwaarts afschuiven van de dijk. Door de helling aan de binnenzijde van de dijk te verflauwen wordt de kans op afschuiven verkleind. Verflauwen kan door het aanbrengen van grond aan de binnenzijde van de dijk. M3 wordt alleen als aparte bouwsteen benoemd als M1 niet is geselecteerd.
Constructieve oplossing (M4)	WATERVEILIGHEID PIPING  Piping- / Heavescherm (niet waterdoorlatend)	Het doel van een constructieve oplossing (zoals bijvoorbeeld een stabiliteitsscherm) is het voorkomen van het binnenwaarts afschuiven van de dijk. De stabiliteit van de dijk wordt vergroot met een verticaal scherm. Dit kan bijvoorbeeld een stalen damwand zijn die in de grond wordt geheid of getrild.
Drainageconstructie (M5/P4)	WATERVEILIGHEID MACROSTABILITEIT  Drainageconstructie	Het doel van een drainageconstructie is het voorkomen van het binnenwaarts afschuiven van de dijk. Door water uit het dijklichaam af te voeren wordt het gewicht van het binnentalud verlaagd. Hierdoor wordt de kans op afschuiving kleiner. Water kan worden afgevoerd uit het binnentalud door een goed drainerende grindkoffer in te graven, of door actief water weg te pompen met bronnen of door horizontale drainagebuizen aan te leggen. Deze maatregelen kan ook helpen tegen piping.

Zelfstandig waterkerende constructie (M6)	WATERVEILIGHEID MACROSTABILITEIT  Zelfstandig waterkerende constructie	Het doel van een zelfstandig waterkerende constructie is het voorkomen van het binnenwaarts afschuiven van de dijk. Voorbeelden zijn een betonnen diepwand die wordt aangebracht in een gegraven sleuf of een kistdam die bestaat uit twee aan elkaar verbonden stalen wanden voor extra stabiliteit.
Grondverbetering (M7)	WATERVEILIGHEID MACROSTABILITEIT  Grondverbetering	Het doel van grondverbetering is het voorkomen van het binnenwaarts afschuiven van de dijk. Door grond aan de binnenzijde van de dijk (binnenberm) te vervangen door zwaardere grond, wordt meer tegendruk geboden. Dit kan bijvoorbeeld door het aanbrengen van keileem in de binnenberm van de dijk. Voor- en nadelen Een innovatief alternatief waarbij grond wordt verbeterd zonder het af te graven is het verhogen van de sterkte door versnelde consolidatie met technieken zoals vacuüm consolidatie of voorbelasting. Het nadeel hiervan is dat de eindsterkte/ tijdsduur onzeker is. Grondverbetering is geen opzichzelfstaande bouwsteen die zelfstandig het stabiliteitsprobleem oplost. Het is een optimalisatie die in de planuitwerkings- of realisatiefase kan worden toegepast in aanvulling op andere bouwstenen. In de verkenningsfase hebben we deze bouwsteen niet onderzocht.
Hoogte-bouwstenen om overslag te voorkomen (M8)	WATERVEILIGHEID MACROSTABILITEIT  Hoogtebouwstenen om significante overslag te voorkomen.	Binnen deze bouwsteen wordt gekozen voor één van de bouwstenen die onder het faalmechanisme hoogte staan beschreven. Het doel van hoogtebouwstenen om overslag te beperken is zowel het voorkomen van overslag over de dijk als het binnenwaarts afschuiven van de dijk. Door overslag van water over de dijk te beperken dringt minder water in het binnentalud. Door verzadiging te voorkomen wordt ook de kans op afschuiving kleiner. Alle hoogtemaatregelen die tot gevolg hebben dat minder water over de dijk slaat, kunnen bijdragen aan het verkleinen van de infiltratie in het binnentalud.

Piping bouwstenen

Bouwsteen		Beschrijving
Horizontale berm binnendijks (P1)		Het doel van een horizontale berm binnendijks is het voorkomen van het ontstaan van kanalen (zogenaamde pipes of wellen) onder de dijk die zand meevoeren. Door binnendijks een brede berm van klei aan te leggen, wordt de weg die het water onder de dijk aflegt (de kwelweg) langer. Hierdoor wordt de weerstand groter en wordt het meevoeren van zand voorkomen.
Horizontale klei-ingraving buitendijks (voorlandverbetering) (P2)		Het doel van een horizontale klei-ingraving buitendijks (ook wel voorlandverbetering genoemd) is het voorkomen van het ontstaan van zandmeevoerende wellen onder de dijk. Door buitendijks klei in te graven in een strook voor de dijk, wordt de weg die het water onder de dijk aflegt langer. Hierdoor wordt de weerstand groter en wordt het meevoeren van zand voorkomen. In plaats van klei kunnen ook bentonietmatten worden ingegraven waarop de oorspronkelijke grond wordt teruggeplaatst.
Piping-/heavescherm (niet waterdoorlatend) (P3)		Het doel van een piping-/heavescherm is het voorkomen van het ontstaan van zandmeevoerende wellen onder de dijk. Met een grond- en waterdicht verticaal scherm wordt de kwelstroom onder de dijk tegengehouden of wordt de kwelweg verlengd. Hierdoor wordt het meevoeren van zand voorkomen. Deze schermen kunnen worden uitgevoerd in cement-bentoniet maar ook in staal of plastic.

Drainageconstructie (P4/M5)	WATERVEILIGHEID PIPING  Drainageconstructie	Het doel van een drainageconstructie is het voorkomen van het ontstaan van zandmeevoerende wellen onder de dijk. Met drainage wordt het drukverschil in de kwelstroom verlaagd. Hierdoor wordt de kans dat zand meevoerende kanalen en wellen ontstaan verkleind.
Verticale waterdoorlatende oplossingen (P5)	WATERVEILIGHEID PIPING  Verticale oplossingen (waterdoorlatend)	Het doel van verticale waterdoorlatende oplossingen (zoals een verticaal zanddicht geotextiel (VZG) of een grofzand barrière (GZB)) is het voorkomen van het ontstaan van zandmeevoerende wellen onder de dijk. Met de oplossingen wordt het zand uit de kwelstroom weggevangen terwijl de kwelstroom zelf wel doorloopt. Bij een VZG vangt een geotextiel het zand af en bij een GZB houdt een sleuf van grof zand het transport van fijner zand tegen. N.B. indien voor dit alternatief wordt gekozen zullen in een vervolgfase de voor- en nadelen per type oplossing nader worden beschouwd om zo tot de meest geschikte oplossing te komen.
Opzetten peil in teensloten (P6a)	WATERVEILIGHEID PIPING  Opzetten peil in teensloten	Indien piping plaatsvindt als gevolg van een teensloot kan er tegendruk worden gecreëerd door het waterpeil in de teensloot onder maatgevende condities te verhogen (opzetten). Peilopzet van de teensloot is geen opzichzelfstaande bouwsteen die zelfstandig het piping probleem in de dijkzones van SAFE kan oplossen. Daarom valt deze bouwsteen af voor alle dijkzones.

Opzetten peil teensloten met kwelkade (P6b)



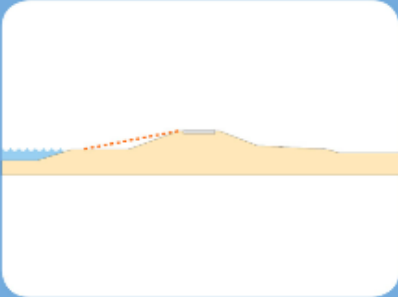
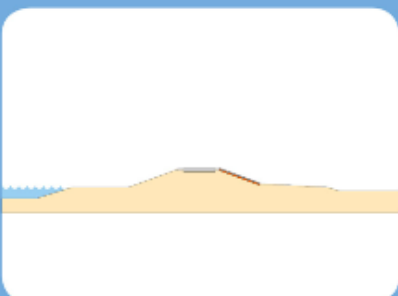
Net als bij oplossing P7a wordt het water aan de binnenzijde van de dijk opgezet. Het verschil is dat aan de landzijde een kwelkade wordt aangelegd waardoor het waterniveau in een strook van enkele tientallen meters vanaf de teen van de dijk extra kan worden verhoogd.

Kwelkades vormen geen robuuste oplossing voor de waterveiligheid, vereisen een grote beheerinspanning en leiden daarmee tot hogere levensduurkosten. Daarom valt deze bouwsteen voor alle dijkzones af.

Hoogte (GEKB) bouwstenen

Over het hele traject is er in dit project nergens een geprioriteerde hoogte opgave. Op sommige plekken is er op termijn wel een beperkte opgave. Daarnaast kunnen hoogte bouwstenen gebruikt worden om de stabiliteitsopgave te beperken. Daarom worden deze bouwstenen hieronder verder uitgewerkt.

Bouwsteen		Beschrijving
Kruinverhoging (H1a, b en c)		Het doel van een kruinverhoging is het voorkomen van overloop en overslag van water over de dijk. Door het ophogen van de dijk slaat er minder water over de dijk heen. Als de dijk wordt opgehoogd met grond, wordt de dijk ook breder wordt om voldoende stabiel te blijven. Kruinverhoging kan op verschillende manieren. Bij een kruinverhoging binnenwaarts geeft dit ruimtebeslag aan de beschermde landzijde. Bij een vierkante versterking wordt het extra ruimtebeslag verdeeld over de landzijde en de rivierzijde. Bij een buitenwaartse versterking neemt het ruimtebeslag aan de rivierzijde toe.
Golfremmende maatregelen - verruwing (H2a)		Het doel van golfremmende maatregelen is om overloop en overslag van water over de dijk te verminderen. Door maatregelen aan de buitenzijde van de dijk te treffen worden golven afgeremd. Als golven minder hoog zijn hoeft de dijk minder te worden verhoogd. Golfremmende maatregelen lossen niet zelfstandig het hoogteprobleem op. Daarom zijn ze niet als bouwsteen gehanteerd in de verkenningfase. Deze bouwsteen kan mogelijk wel worden toegepast als optimalisatie in de planuitwerkingsfase als er een kleine hoogteopgave is of als hiermee kosten bespaard of overlast verminderd kan worden.

Golfremmende maatregelen - taludverflauwing (H2b)	WATERVEILIGHEID HOOGTE  Golfremmende maatregelen Taludverflauwing	Het doel van golfremmende maatregelen is om overloop en overslag van water over de dijk te verminderen. Door het talud aan de buitenzijde van de dijk te verflauwen worden golven afgeremd. Als golven minder hoog zijn hoeft de dijk minder te worden verhoogd. Golfremmende maatregelen lossen niet zelfstandig het hoogteprobleem op. Daarom zijn ze niet als bouwsteen gehanteerd in de verkenningsfase. Deze bouwsteen kan mogelijk wel worden toegepast als optimalisatie in de planuitwerkingsfase als er een kleine hoogteopgave is of als hiermee kosten bespaard of overlast verminderd kan worden.
Tuimelkade (H3)	WATERVEILIGHEID HOOGTE  Tuimelkade	Het doel van een tuimelkade is om overloop en overslag van water over de dijk te voorkomen. Een tuimelkade is een verhoging boven op een deel van de kruin van de dijk om overslag te voorkomen. Deze wordt meestal aan de buitenzijde op de kruin aangelegd.
Erosiebestendig maken van de kruin en het binnentalud (H4)	WATERVEILIGHEID HOOGTE  Erosiebestendig maken van de kruin en het binnentalud	Het doel van het erosiebestendig maken van de kruin en het binnentalud van de dijk is om de dijk bestand te maken tegen overslag. Door aanpassing van de dijkbekleding wordt voorkomen dat overslag van water over de dijk schade aan de dijk toebrengt. Deze maatregel kan bijvoorbeeld worden uitgevoerd met stevigere graszoden of verharding. Deze bouwsteen lost niet zelfstandig het hoogteprobleem op. Daarom is hij niet als bouwsteen gehanteerd in de verkenningsfase. Deze bouwsteen kan mogelijk wel worden toegepast als optimalisatie in de planuitwerkingsfase als er een kleine hoogteopgave is of als hiermee kosten bespaard of overlast verminderd kan worden.

Beheer grasbekleding kruin en binnentalud verbeteren (H5)		Het doel van het verbeteren van het beheer van de grasbekleding is het voorkomen van erosie van de kruin en het binnentalud. Dit kan door frequenter schadeherstel, met name bij overgangen tussen de grasbekleding en bijvoorbeeld verharde dijktrappen (of het aantal overgangen verminderen). Daarnaast kan de beheerbaarheid worden vergroot door een flauwer talud en realiseren van een doorlopende beheerstrook. Deze bouwsteen lost niet zelfstandig het hoogteprobleem op. Daarom is hij niet als bouwsteen gehanteerd in de verkenningsfase. Deze bouwsteen kan mogelijk wel worden toegepast als optimalisatie in de planuitwerkingsfase als er een kleine hoogteopgave is of als hiermee kosten bespaard of overlast verminderd kan worden.
(flexibele) Keermuur (H6)		Het doel van een keermuur is het voorkomen van overloop en overslag van water over de dijk. Dit wordt gerealiseerd door het verhogen van de dijk met een permanente muur. Deze bouwsteen is niet toegepast in de dijkzones van SAFE. De bouwsteen is mogelijk relevant bij een prioritaire hoogteopgave in combinatie met ruimtegebrek in verstedelijkt gebied. Dit speelt niet in SAFE. Een flexibele waterkering is vanuit waterveiligheid en beheer ongewenst.

Overige faalmechanismen

Voor de overige faalmechanismen geldt dat deze alleen worden verbeterd als er een opgave is, én er wordt gekozen voor een integrale versterking van het dijkvak, én het type versterking zich leent voor een verbetering van deze faalmechanismen. De opgave is nu toegespitst op de faalmechanismen die het meeste bijdragen aan de waterveiligheid : macrostabiliteit binnenwaarts (STBI), piping (STPH) en hoogte (GEKB). De partiële versterking richt zich op een zo hoog mogelijk veiligheidsrendement door macrostabiliteit en/of piping aan te pakken in de geprioriteerde dijkzones. We presenteren hier geen bouwstenen voor overige faalmechanismen, maar kunnen die eventueel toevoegen als ze relatief makkelijk mee te nemen zijn in integrale ontwerpalternatieven. versterking.