

- ▶ Het verhaal over dijk- of zetstenen
Stabiliteit, golfoploop, milieu en kosten

Diik- of zetstee



Waarom dit whitepaper?

Dit whitepaper is bedoeld voor iedereen die zich inzet voor sterke kustlijnes in Nederland. Van professionals bij waterschappen, ingenieurs tot onderzoekers of projectontwikkelaars in de waterbouw. Het is namelijk vijf voor twaalf. Het stijgen van de zeespiegel zorgt voor de noodzaak om onze dijken toekomstbestendig te maken op een manier die past bij deze tijd. Duurzaam en met alle ruimte voor de ecologie.

Bijzondere onderzoeksresultaten

Op de belangrijke aspecten die van invloed zijn op succesvolle dijkbekleding wordt in dit document ingezoomd. Denk hierbij aan: golfploopreductie, de ruwheidsfactor, de stabiliteitsfactor, het verlagen van de milieukosten tijdens de aanleg van dijken en de sociale impact van dijkversterking. Wij, van Martens delen graag de onderzoeksresultaten uit de deltagoottesten van Deltares uit de afgelopen 10 jaar. Deze resultaten bieden een wetenschappelijke onderbouwing voor de effectiviteit van grote holtes tussen de dijkversterking.

Veiligheid staat bovenaan, daarnaast de praktijk en de Ecologie

Jim van Belzen estuariene ecooloog bij het NIOZ en Wageningen Marine Research, legt dat goed uit. Hij zegt dat er naast de veiligheid twee aspecten zijn aan het bouwen van dijken.

Hijzelf wil "iets creëren dat voor de biodiversiteit en voor de natuur meerwaarde heeft. Hiervoor wil je graag een structuur hebben die grillig is, veel variatie in zich heeft en die niet overal hetzelfde eruit ziet. Het kost echter veel tijd om grillige structuren neer te leggen." Deze laatste zin geeft de problematiek al duidelijk weer.

De dijkenbouwer komt veelal uit op dijkstenen die makkelijk neer te leggen zijn en makkelijk te onderhouden. Grillig is dan het laatste wat zo iemand wil: "Een dijksteen met grote open ruimtes zit hier mooi tussen in. Precies de voordelen die je nodig hebt om meer biodiversiteit voor elkaar te krijgen dan een rechtoe rechtaan bekleding. Daarnaast is een dergelijke steen ook makkelijk te leggen." Dit whitepaper gaat over de Veiligheid, de ecologie wordt nader beschreven in een volgend paper.

Jim van Belzen op een dijk met Hillblock Ecoblocks in Burgh-Haamstede

Bedreigende factoren van stevige dijken

Dijken zijn essentiële structuren die ons land en de inwoners beschermen tegen overstromingen en andere watergerelateerde risico's. Eerdere rampen met dijken en overstromingen hebben er mede voor gezorgd dat Nederland ervan doordrongen is dat sterke dijken van levensbelang zijn. Dit geldt zowel voor zeedijken als ook voor rivierdijken.

Voor hun effectieve werking moeten dijken bestand zijn tegen verschillende faalmechanismen die hun stabiliteit en veiligheidswerking kunnen bedreigen.

De Unie van Waterschappen benoemt acht verschillende faalmechanismen voor het bezwijken van een dijk:

- **Bekleding:** de bekleding beschermt de dijk tegen erosie en directe waterimpact; schade aan de bekleding kan leiden tot instabiliteit en falen van de dijk;
- **Macro-instabiliteit binnenwaarts*:** een fenomeen dat optreedt wanneer de druk van het water aan de binnenzijde van de dijk leidt tot verzakking of afschuiving van het dijklichaam, (* = aan de landzijde van een dijk);
- **Macro-instabiliteit buitenwaarts**:** i.t.t. de binnenwaartse variant ontstaat dit wanneer externe krachten, zoals golven of aardverschuivingen, de dijk onder druk zetten, wat kan resulteren in instabiliteit aan de buitenzijde, (** = aan de waterzijde van een dijk);
- **Micro-instabiliteit:** dit verwijst naar kleinere, interne instabiliteitsproblemen binnen de dijk die, indien niet aangepakt, kunnen leiden tot grotere structurele schade;
- **Overloop:** wanneer de waterstand boven de dijk stijgt, ontstaat overloop waardoor water over de dijk stroomt en erosie kan veroorzaken aan de achterzijde (= landzijde) van de dijk;
- **Overslag:** dit mechanisme treedt op wanneer golven over de top van de dijk heen komen, wat leidt tot schade aan de dijk en mogelijke instabiliteit;
- **Piping:** dit is het proces waarbij water door de dijk of onder de dijk doorstroomt, wat kan leiden tot interne erosie en uiteindelijk falen van de dijk;
- **Instabiliteit vooroever:** dit gebeurt wanneer de erosie of andere factoren de stabiliteit van de vooroever aantasten, wat de fundering van de dijk in gevaar kan brengen.

Zoals u echter weet, is voorkomen beter dan genezen. Een goed ontworpen dijk met een juiste dijkbekleding zal voorkomen dat een van deze bezwijkmechanismen zal optreden. We gaan hiernaast verder in op de dijkbekleding.

Dijkbekleding voor de stabiliteit

Dijkbekleding geeft stevigheid aan dijken en kan bestaan uit een zachte beschermende laag zoals: grond, klei, grassen en andere vegetatie of kan een harde beschermende laag zijn, zoals stenen, rotsen, asfalt, beton etc. Deze laag beschermt de dijk tegen erosie en directe waterimpact en speelt een sleutelrol in de stabiliteit van de constructie. Wanneer de bekleding verzwakt of beschadigd raakt, kunnen er ernstige problemen ontstaan. Erosie kan leiden tot macro-instabiliteit, zowel binnenwaarts als buitenwaarts. En daarmee komt de stabiliteit van de dijk in gevaar. Het is daarom van essentieel belang om aandacht te besteden aan het ontwerp en het onderhoud van de bekleding om de effectiviteit en veiligheid van dijken te waarborgen.



Succesfactoren voor veilige en duurzame dijken

In zijn algemeenheid kun je stellen dat er een aantal factoren zijn die van invloed zijn op de veiligheid en duurzaamheid van een dijk.

1. Het type bekleding bepaalt sterk hoeveel golfploopreductie er ontstaat. Minder hoge golven zijn essentieel om dijken veilig, uitvoerbaar en betaalbaar te houden;
2. De stabiliteit van de dijkbekleding, uitgedrukt in de stabiliteitsfactor, is belangrijk: de sterke bekleding beschermt de integriteit van de dijk tegen extreme weersomstandigheden. De deltagoottesten van Deltares helpen bij het evalueren van deze aspecten;
3. De milieukosten laten zien wat de milieu-impact is van een dijk op zijn omgeving, vertaald in euro's;
4. De mogelijke invloed van de dijkbekleding op de biodiversiteit op en om de dijk wordt, zoals aangegeven, in een volgend whitepaper beschreven.



1. Golfploop verminderen

Een belangrijke pijler voor succesvolle dijken is golfploopreductie. De golfploop is de hoogte tot waar een golf de dijk oploopt. Hoe lager de golf komt, hoe minder kans er is op overstromingen op het land achter de dijk. Je wilt eigenlijk dat de golf zo weinig mogelijk oploopt op de dijk. Dijkstenen of zetstenen spelen bij veel primaire dijken een belangrijke rol.

Er zijn twee manieren om invloed uit te oefenen op de golfploopreductie:

- **Waterdoorlatendheid van de dijkbekleding**

De open ruimtes tussen de stenen. Zorgen dus voor een hoge waterdoorlatendheid van de dijkbekleding en zodoende in minder hoge golven. Dit heet dan ook de waterdoorlatendheid van de toplaag of dijkbekleding.

- **Ruwheid van de dijk**

De ruwheid van een dijk zorgt voor een golfploopreductie; hoe ruwer het oppervlak van een totale dijk, hoe groter de remming van golven is. Door kunstmatige 'obstakels' wordt de dijk ruwer.

1.1 Golfploopreductie door waterdoorlatendheid van de dijkbekleding

De als eerste genoemde methode om de golfploop te beïnvloeden is waterdoorlatendheid. Dit helpt om de kracht van golven te verminderen door de energie van de golven geleidelijk af te breken. De obstakels op de dijk (verhoogde ruwheid) hebben nadelen, met name bij inspectie en berijdbaarheid van de dijk. De waterdoorlatendheid verhogen in de steenzetting (lees: tussen de blokken) kent dit nadeel van berijdbaarheid niet. Massieve zetstenen vormen een bijna volledig gesloten oppervlakte op een dijk met als gevolg dat golven minder geremd worden en dus hoog uitkomen,

Mark Klein Breteler, specialist Deltares: "Bij het Hillblock zie je dus dat het een soort paddenstoel is door zijn smallere hals. De hypothese is dat een deel van de golfklapenergie in die kanalen in de bekleding verdwijnt, en niet bijdraagt aan de verschildrukken die hem eruit kunnen drukken. En daardoor is dit gewoon een slim blok."

mogelijk zelfs hoger dan wanneer er iets van open ruimte of begroeiing zou zijn. Holle ruimtes tussen de zetstenen verhogen de waterdoorlatendheid van de dijkbekleding. Tussen de openingen bij de stenen loopt er water van de golf de holle ruimtes in. Het water spoelt en stroomt door de openingen van de stenen en verliest energie door de wrijving met de zetstenen. Hierdoor wordt de golf geremd en neemt de kans op overstromingen sterk af.

Golfploopreductie getest

Tijdens deltagoottesten bij Deltares zijn golven van 2 tot 3,5 meter losgelaten, vergelijkbaar met de extreme omstandigheden van een storm die eens in de 10.000 jaar voorkomt. De blokken met holle ruimtes bleken effectief in het absorberen en daarmee het dempen van de golfenergie. Dit leverde een significante vermindering op van de hoogte van het water op de dijk en van de hoeveelheid water dat de bovenkant van de proefdijk haalde. Dit vermindert niet alleen de kans op overstromingen, maar zorgt ook voor beperking van de erosie en slijtage van de dijkbekleding.



1.2 Golfplooproductie door gunstige ruwheidsfactor

De ruwheidsfactor is de mate van ruwheid van het dijktaalud die zorgt dat golfploop en golfoverslag kleiner worden.

De invloed van ruwheid op golfploop wordt gegeven door de ruwheidsfactor of wel invloedsfactor ($= \gamma_{f0}$). Proeven bij Deltares hebben laten zien dat de ruwheidsfactor afhankelijk is van de verhouding tussen de toplaagdikte en de significante golfhoogte ($= Hm_0$). Als deze verhouding groot is, dan kan een groter deel van de golfploop geborgen worden in de kanalen in de toplaag. Doordat dit kanaalvolume naar verwachting de belangrijkste factor is, is de relatie tussen de ruwheidsfactor en dit volume gezocht op basis van de metingen. Daarbij gaat het om het volume per m^2 taludoppervlak ($= d_{\text{kanaal}}$).

Professor Van de Meer: "Maar ik was kritisch. Om eerlijk te zijn had ik mijn twijfels over de golfplooproductie. Maar ik moet eerlijk zijn: toen we het Hillblock gingen testen hebben de resultaten mij zeer positief verrast."

Professor Jentsje van der Meer is een internationaal gerenommeerd expert in het beoordelen, ontwerpen en testen van golfbrekers en kunstwerken. Zijn expertise omvat zodoende dijken, zeeweringen, bekledingen en kiezelstranden.

Wil je meer weten over de aanbevolen ruwheidsfactor. Kijk dan in bijlage 2.

2. Stabiliteit van dijken

Een andere belangrijke eigenschap van een zetsteen is de stabiliteit die wordt uitgedrukt in de stabiliteitsfactor. Dit

Mark Klein Breteler, specialist Deltares: "Een ander slimigheidje is het groefje in het Hillblock. Het lijkt een weinig belangrijk groefje, maar het zorgt ervoor dat steentjes die hiertussen zitten heel goed grip hebben op de blokken en als het ware een soort slotje worden van het ene naar het andere blok. Waardoor het dus een hoge stabiliteit heeft."

is cruciaal in gebieden waar dijken worden blootgesteld aan zware golfslag en extreme stormen. De stabiliteit van dijkbekledingen bepaalt in hoge mate hoe lang een dijk bestand blijft tegen erosie en schade.

De stabiliteitsfactor van een dijksteen geeft weer hoeveel procent een dijkblok stabiel is dan een referentiedijk met stabiliteitsfactor 1. De stabiliteitsfactor wordt door Deltares in overeenstemming met Rijkswaterstaat berekend.

Deltagoottesten Deltares

Om de stabiliteitsfactor te kunnen berekenen zijn er grondige testen en onderzoeken uitgevoerd in de Deltagoot van Deltares. Deze golfgoot is 's werelds grootste kunstmatige golfopwekker met een lengte van 291 m, een breedte van 5,0 m en een diepte van 9,5 m. De gootwanden zijn lokaal bij de kruin van de dijk nog verhoogd met 2,8 m hoge opzetstukken.

De goot is voorzien van een golfschot waarmee zowel regelmatige als onregelmatige golven kunnen worden opgewekt. Het golfschot is voorzien van een systeem dat voor



gereflecteerde golven compenseert, zodat deze niet opnieuw bij het golfschot vandaan in de richting van de constructie reflecteren. Afhankelijk van de waterdiepte en golfperiode kan het golfschot onregelmatige golven opwekken met een significante golfhoogte tot ongeveer $H_s = 2,0$ m. Met deze golfhoogte is het mogelijk de maximale golfcondities op beschutte locaties in estuaria en binnenwateren op grote schaal te reproduceren. Op veel plaatsen langs de Nederlandse kust zijn de maatgevende golven echter tot circa anderhalf maal zo hoog. Bijna alle onderzoeken in de Deltagoot worden daarom uitgevoerd met schaalmodellen van zetstenen of andere te testen objecten.

Het onderzoek heeft ook aangetoond dat het echt nodig was om tenminste de schaal 1:2 te gebruiken, omdat bij een schaal 1:1 de grootste kunstmatige golfmaker ter wereld geen golven op kon wekken die het Hillblock konden uitdagen. Voor verdere toelichting op de stabiliteitsfactor kijk in bijlage 2)

3. Milieukosten reduceren

Sinds najaar 2023 heeft het HWBP (Hoog Water Bescherming Programma) een grotere opdracht gekregen. Tot aan 2050 moet niet 1.500 kilometer, maar 2.000 kilometer dijk worden verbeterd. Eigenlijk binnen hetzelfde budget. Hiertoe zullen de kosten per kilometer dijk fors naar beneden moeten. Tegelijkertijd moet ook het milieu meer ontzien worden: de milieukosten moeten naar beneden. Er wordt hieronder ingegaan op de milieukosten via de MKI, de CO₂-uitstoot, de sociale impact van dijkverbredingen en kostenbesparingen.

3.1 Milieukostenindicator (MKI)

Een levenscyclusanalyse (LCA) is de analyse van 19 verschillende indicatoren die iets verklaren over de milieu-impact tijdens de productie en levenscyclus van een product.

De milieukostenindicator (MKI) is de milieu-impact van alle ingrediënten van een product in de hele levenscyclus uitgedrukt in geld. Hoe lager de MKI-waarde, hoe lager de impact op het milieu en dus hoe duurzamer de toelevering en toepassing is. Voor aannemers en opdrachtgevers is een voordelige MKI-waarde essentieel voor het maken van keuzes tussen verschillende oplossingen en uitvoeringen van projecten. Voor een levenscyclusanalyse van het Hillblock kunt u contact opnemen met Martens beton.

3.2 CO₂-reductie

Veelal werden traditionele zetstenen gebruikt als dijkversterking vanwege hun stevigheid, stabiliteit en het feit dat die producten vaak al tientallen jaren met succes worden toegepast. Inmiddels tellen milieu-aspecten ook serieus mee bij alle overheidsprojecten. Traditionele zetstenen hebben nadelen, vooral als het gaat om de impact op het milieu. Door de massa van de traditionele zetstenen of asfalt als dijkbekleding komt er

bij het productieproces en transport veel CO₂ vrij, wat bijdraagt aan de klimaatproblematiek. Gelukkig zijn er innovatieve oplossingen beschikbaar, zoals zetstenen met een efficiënter ontwerp, die bijdragen aan een lagere CO₂-uitstoot zonder in te boeten op veiligheid.

Efficiënt ontwerp en CO₂-besparing

De meest efficiënte manier om CO₂ te besparen is om minder beton (of asfalt) toe te passen. Door de zetstenen anders te ontwerpen, is er minder beton nodig voor de productie. Dit heeft meerdere voordelen:

- De besparing op grondstoffen leidt direct tot een vermindering van de CO₂-uitstoot tijdens de fabricage, omdat er minder energie nodig is om de steen te maken;
- De vermindering in materiaal zorgt voor een lichtere zetsteen, wat betekent dat er minder brandstof wordt verbruikt tijdens het transport naar de bouwplaats;
- Het lichtere gewicht van de zetsteen heeft positieve gevolgen voor de plaatsing. Er zijn minder zware kranen en machines nodig, wat leidt tot minder brandstofverbruik en minder slijtage van het materieel;
- Minder beton betekent ook een positieve bijdrage aan een duurzamer proces.

3.3 Sociale impact van dijkverhogingen en -verbredingen

Dijkverhogingen en -verbredingen zijn vaak noodzakelijk om de veiligheid van omwonenden te waarborgen door



overstromingen te voorkomen. Klimaatverandering zorgt voor hogere waterstanden van zeeën en rivieren. Daarnaast treden er vaker extremere weersomstandigheden op, waardoor het versterken van dijken belangrijk is. Dijkversterkingsprojecten hebben niet alleen fysieke, maar ook sociale gevolgen. Voor veel mensen die op of in de buurt van een dijk wonen of werken, kunnen deze veranderingen ingrijpende gevolgen hebben. Eén van de meest gevoelige kwesties bij dergelijke projecten is de onteigening van grond en eigendommen. Niemand wordt graag gedwongen om huis of bedrijf te moeten verkopen.



Uitdaging: onteigening en verandering van leefomgeving

Bij het verbreden van een dijk is vaak meer ruimte nodig dan oorspronkelijk beschikbaar is. Dit kan betekenen dat boeren een deel van hun land moeten afstaan, bedrijven hun percelen verliezen of zelfs woningen moeten wijken voor het nieuwe dijktracé. Voor de mensen die worden getroffen, kan dit een ingrijpende verandering zijn. Onteigening heeft een grote sociale impact; zo kan het leiden tot financiële zorgen en onzekerheid over de toekomst. Bovendien verandert de leefomgeving voor veel mensen: de verbinding met de natuurlijke omgeving wordt anders en de infrastructuur in de omgeving wordt aangepast. De procedures rond onteigening kunnen tijdrovend en complex zijn, waarbij langdurige onderhandelingen, tijdrovende procedures en juridische stappen aan de orde van de dag zijn. Dit zorgt voor stress bij de betrokkenen en kan zelfs leiden tot weerstand tegen de plannen voor dijkversterking. Gemeenschappen kunnen hierdoor verdeeld raken, en het vertrouwen in lokale overheden en instanties kan afnemen. Bovendien kost het verschrikkelijk veel geld wat heel anders en beter gebruikt zou kunnen worden. Aan de buitenkant van de dijk, de waterzijde, heeft de natuur af en toe een onwrikbaar karakter. Natura 2000-gebieden zijn no-go-gebieden voor buitenwaartse oplossingen. En een rivier heeft vaak een vaargeul die niet belemmerd kan worden door dijkwerkzaamheden of een dijkitbreiding. Hierdoor zijn waterschappen, gemeentes of provincies voor het belang van velen achter de dijk gedwongen om impopulaire maatregelen te nemen aan de landzijde van de dijk.

3.4 Kostenbesparing

Na veiligheid is kostenbesparing een cruciaal aspect bij het aanleggen en onderhouden van dijken, vooral gezien de aanzienlijke investeringen die hiermee gepaard gaan. De uitgebreide opgave van het HWBP tot aan 2050 maakt dat er nog heel veel geïnvesteerd moet worden. Bij traditionele dijkconstructies zijn de kosten vaak hoog door het gebruik van grote hoeveelheden materialen, transport en de inzet van zware machines. Voor de haalbaarheid van een project is het ook belangrijk dat het financiële plaatje klopt. Nieuw ontworpen zetstenen bieden hierin een waardevolle oplossing door een efficiënter gebruik van materialen mogelijk te

maken. De paddenstoelvorm van het Hillblock zorgt voor een materiaalbesparing van ruim 30%. Dit resulteert in minder gebruik van beton, wat leidt tot lagere materiaalkosten en minder transportkosten vanwege het lichte gewicht van de stenen. Maar belangrijker: de golfremming maakt dat dijken minder hoog en minder breed moeten worden ontworpen en aangelegd: veel minder grondverzet en aanvoer van grond, klei en materialen. En dit doen de aannemers ook nog in een kortere tijd. Dit alles resulteert niet alleen in kostenbesparingen, maar ook in minder energiegebruik en een lagere milieubelasting!

4. Tot slot een inkijkje in biodiversiteit

Dankzij de dunnere Hals, lagere CO₂-uitstoot door gewichtsbesparing, verminderd gebruik van kranen en transportmiddelen en minder transport van grondstoffen naar de fabriek, heeft het Hillblock zich in diverse projecten en Deltagoottesten al bewezen met betrekking tot stabiliteit en veiligheid van de dijk. Bovendien levert de holle ruimte iets op dat 20 jaar terug een marginale impact had en inmiddels hoog op de agenda staat van Rijkswaterstaat, Waterschappen en andere opdrachtgevers: verbetering van biodiversiteit. De ± 30% holle ruimte van een dijk met het Hillblock zorgt voor heel veel ruimte voor wortels van planten en ook voor dierlijk leven tussen de zetstenen. Voor meer biodiversiteit op een betonnen dijk kan deze dijk overlaagd worden met grond. Na het overlagen van een dijk kan hier de natuur zijn vrije gang gaan of kan de grond worden ingezaaid met specifieke kruidenmengsels die bepaalde diersoorten aantrekken die op die locatie gewenst zijn of juist bedreigd worden in hun leefomgeving. Op het moment dat het dusdanig stormt dat de laag grond weg zou spoelen, komt de ruwheidsfactor van de betonnen dijk weer terug naar boven wat zorgt voor de remming van de golven. Een betonnen dijk die overlaagd is, houdt nog altijd zijn waterkerende functie voor het achterland. Zo blijft de dijk dus veilig. Terwijl het grootste gedeelte van de tijd diezelfde dijk dus wél zorgt voor biodiversiteit en leven. Dit principe is al toegepast in Noord-Brabant en met succes. Ook dijkbeheerders van rivierdijken zijn enthousiast over deze toepassing van het Hillblock: veilig én biodivers! In een volgend whitepaper wordt het thema biodiversiteit uitgebreid behandeld.

Bijlagen:

1. Aanbevolen ruwheidsfactor

Een formule is afgeleid om de ruwheidsfactor voor Hillblocks nauwkeurig te berekenen:

$$\gamma_{f,0} = 0,0028 \frac{H_{m0}}{d_{kanaal}} + 0,69$$

Waarbij:

$\gamma_{f,0}$ de ruwheidsfactor is voor oploop en overslag [-],

H_{m0} de significante golfhoogte is [m],

d_{kanaal} kanaalvolume per m² bekleding [m³].

Deze formule biedt waterbeheerders een rekenkundige basis om de effectiviteit van het Hillblock te berekenen bij uiteenlopende weersomstandigheden.

Massieve zetstenen zoals Verkalit, Ronaton, het Haringmanblok of het Quattroblok verbeteren hun ruwheidsfactor door groeven te maken tussen de zetstenen, waardoor de golf enigszins geremd wordt. Soms wordt gekozen om hoge en lage massieve blokken door elkaar heen te plaatsen, waardoor je een ruigere dijk krijgt waar de golf overheen moet. Eén van de nadelen hiervan geldt voor de inspecteurs van dijken, die niet eenvoudig over de dijk kunnen rijden voor controle en/of werkzaamheden aan de dijk. Een effectievere manier is bijvoorbeeld het creëren van een holle ruimte, zoals het Hillblock. Door de paddenstoelvorm van het Hillblock ontstaat er een holle ruimte die 30% van het totale volume bedraagt.

2. Stabiliteitsfactor

De stabiliteitsfactor van een dijksteen geeft weer hoeveel procent een dijkblok stabiel is dan een vlakke betonnen dijk. De stabiliteitsfactor wordt door Deltares in overeenstemming met Rijkswaterstaat berekend. De stabiliteitsfactor voor een dijksteen is berekend op basis van proeven in de Deltagoot, waarbij een correctie wordt toegepast op het rekenprogramma Steentoets door middel van een veiligheidsfactor. Deze stabiliteitsfactor, die per type steenzetting varieert, wordt onzichtbaar in de Steentoets-code verwerkt en bepaalt de benodigde toplaagdikte. Steenzettingen met een hogere stabiliteitsfactor, die beter presteerden tijdens de tests, hebben in een ontwerp een kleinere toplaagdikte nodig. De stabiliteitsfactor (f_{stab}) wordt als volgt berekend:

$$f_{stab} = \left(\frac{D_{steentoets}}{D_{modelproeven}} - \frac{D_{steentoets}}{D_{ST\ eigen\ gewicht}} \right) \cdot \gamma + \frac{D_{steentoets}}{D_{ST\ eigen\ gewicht}}$$

Waarbij:

f_{stab} stabiliteitsfactor voor een bepaald type steenzetting

De benodigde toplaagdikte volgens Steentoets moet gedeeld worden door deze stabiliteitsfactor om rekening te houden met de specifieke stabiliteit van het betreffende type steenzetting.

$D_{ST\ eigen\ gewicht}$ de benodigde toplaagdikte volgens Steentoets, als gerekend wordt met alleen het eigen gewicht, bij een golfhoogte gelijk aan die toegepast is in de Deltagoot.

$D_{steentoets}$ de benodigde toplaagdikte volgens Steentoets (als gerekend wordt met klemming, etc. en met stabiliteitsfactor = 1) bij een golfhoogte gelijk aan die toegepast is in de Deltagoot

$D_{modelproeven}$ de toplaagdikte (zuilhoogte) die toegepast is in de Deltagoot

γ veiligheidsfactor

Uit de deltagoottesten bij Deltares blijkt dat het geteste Hillblock een stabiliteitsfactor heeft van 1,35. Dit betekent dat het Hillblock 35% stabiel is dan traditionele steenzettingen. Deze stabiliteitsfactor is de op twee na hoogste stabiliteitsfactor die we kennen. Het Hillblock komt na het Quattroblock (1,64) en RonaTon XL (1,44). Deze producten halen hun stabiliteit uit de inklemming en uit hun gewicht. Het aardige is dat RWS als opdrachtgever ondanks de theoretisch stabiliteitsfactor nooit verder gaat dan een hoogte-reductie van 5 cm op de benodigde berekende hoogte. In de praktijk is het verschil in de 'betere' stabiliteit verwaarloosbaar en zou de keuze meer op

CO₂ reductie, golfoploop en biodiversiteit kunnen liggen.

Voorbeeld: stel je hebt een stabiliteitsfactor van 1,64, dan betekent dat dat het dijkblok uitgevoerd mag worden in de volgende hoogte:

$$\text{Hoogte dijkblok} = \frac{\text{Berekende hoogte met stabiliteitsfactor } 1,0}{1,64}$$

Als het dijkblok eerst op 40 centimeter hoogte berekend was, mag deze nu $40/1,64 = 24,39$ centimeter hoog zijn en vaak wordt dit afgerond op veelvoud van 5 centimeter, dus in dit geval 25 centimeter. Dat is dus $40-25 = 15$ centimeter lager dan voorheen. Dit levert aanzienlijke kostenbesparingen op in materiaal en transport met dezelfde veiligheid.

Zo werkt de stabiliteitsfactor volgens de theorie, maar in de praktijk werkt het anders. Dijkstenen worden namelijk nooit lager dan 5 centimeter onder de berekende waarde uitgevoerd. De stabiliteitswaarde met een lagere waarde, zoals de 1,35 van het Hillblock zou dus ook al voldoen aan de richtlijnen en dus dezelfde stabiliteit bieden als een dijkblok met een hogere stabiliteitsfactor;

Hoogte dijkblok = $40/1,35 = 29,63$ centimeter en dus afgerond 30 centimeter. Maar qua hoogte wordt in de praktijk minimaal $40-5 = 35$ centimeter toegestaan. Zo ook de zetsteen met de hogere stabiliteitsfactor Deze wordt doorgaans ook slechts 5 centimeter gereduceerd.

De smalle hals en holle ruimtes tussen de blokken verminderen de druk op elk afzonderlijk blok, wat voorkomt dat de blokken worden weggeduwd of verschuiven bij zware golfbelasting.

Bovendien is het ontwerp van het Hillblock doorontwikkeld tot het Hillblock Forte. Hierbij is het formaat flink groter geworden, maar is er ook een groef opgenomen in de voet die zorgt voor een vergrendelingseffect tussen de blokken. Steentjes van het voegmateriaal klemmen zich in deze groef en dit verhoogt de cohesie van de blokken en vergroot de weerstand tegen horizontale en verticale bewegingen. De dijk is dus stabiel!

Het Hillblock heeft door zijn vorm naast de golfremmende en duurzame functie van de holle ruimte ook ecologische voordelen. In de holle ruimtes ontstaat er een nieuwe ecologische habitat voor waterplanten en wieren als ook voor kleine waterdieren (bijv. strandvlooien) en grotere waterdieren zoals oesters, mosselen enzovoorts. Hier wordt later bij stil gestaan.