

MATERIAALBESCHIKBAARHEID DIJKVERSTERKINGEN ONDER ZEESPIEGELSTIJGING

In opdracht van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging



J.H. den Daas
5 februari 2025

INHOUDSOPGAVE

1	<u>INLEIDING</u>	2
2	<u>WERKWIJZE</u>	3
	2.1 <u>Inventarisatie benodigde hoeveelheden</u>	3
	2.2 <u>Analyse Grondaanbod Rivierengebied</u>	5
	2.3 <u>Vergelijking vraag en aanbod</u>	7
3	<u>RESULTATEN</u>	7
	3.1 <u>Sedimentvraag</u>	7
	3.2 <u>Sedimentaanbod</u>	10
	3.3 <u>Vergelijking vraag en aanbod</u>	10
4	<u>DISCUSSIE</u>	13
5	<u>CONCLUSIE</u>	14
6	<u>AANBEVELINGEN</u>	15

COLOFON

Dit rapport wordt uitgegeven in het kader van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging.

Het kennisprogramma is een samenwerking tussen het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en de Deltacommissaris.

In het Kennisprogramma Zeespiegelstijging voeren we onderzoek uit om Nederland voor te breiden op een toekomst met zeespiegelstijging.

Naam organisatie die het rapport heeft opgesteld: *HAN University of Applied Sciences*

Auteurs: *Jan den Daas*

Geschreven in opdracht van *Rijkswaterstaat WVL/ DG Water en Bodem* voor het Kennisprogramma Zeespiegelstijging

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

5 februari 2025

INLEIDING

Binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging wordt onderzocht wat de mogelijke gevolgen van de stijgende zeespiegel zijn voor Nederland en hoe houdbaar de bestaande strategieën zijn voor waterafvoer, bescherming tegen overstromingen en wateroverlast, kustonderhoud en zoetwatervoorziening. Een essentieel onderdeel van dit onderzoek richt zich op de waterveiligheid en de benodigde versterking van dijken bij een stijgende zeespiegel en toenemende rivierafvoeren. In het bijzonder is er aandacht voor een mogelijke versnelling van de zeespiegelstijging voor Nederland.

Traditioneel worden dijken op een adaptieve manier versterkt met zand en klei. Door analyses met de OKADER-tool is inzicht verkregen in de hoeveelheid materiaal (zand en klei) die noodzakelijk is voor de voortdurende versterking van de dijken. De afgelopen jaren zijn er verschillende studies uitgevoerd die inzicht bieden in de beschikbaarheid van diverse materialen. Voor de zandsuppleties langs de kust en in de duinen is uitgebreid onderzoek gedaan. Voor het Hoogwaterbeschermingsprogramma is, middels de POV-DGG (Project overstijgende verkenning dijkversterking met gebiedseigen grond), de lokale kleibeschikbaarheid onderzocht en in het kader van het IRM is onderzocht hoeveel zand en grind de komende 50 jaar beschikbaar is in het winterbed.

Een vraag die nog onbeantwoord blijft, is of de hoeveelheden klei en zand uit de Nederlandse uiterwaarden voldoende zijn om de dijken te versterken bij een zeespiegelstijging tot drie meter. Dit onderzoek richt zich op het nader onderzoeken van deze beschikbaarheid en de implicaties voor de lange termijn waterveiligheid van Nederland.

Doel

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te verkrijgen in de beschikbare hoeveelheden zand en klei voor de versterking van rivierdijken en deze af te zetten tegen de benodigde hoeveelheden per dijktraject en per scenario van zeespiegelstijging. Deze inzichten zijn essentieel voor strategische besluitvorming en planning van dijkversterkingsmaatregelen tot het jaar 2200.

WERKWIJZE

Dit onderzoek beschrijft de stappen die zijn genomen om de behoefte aan en beschikbaarheid van grondstoffen (zand en klei) voor de versterking van kleidijken in het rivierengebied in kaart te brengen. De analyse wordt uitgevoerd voor verschillende scenario's van zeespiegelstijging (1, 2 en 3 meter) en omvat drie fasen.

Inventarisatie benodigde hoeveelheden

Doel: Bepalen van de benodigde hoeveelheden zand en klei per dijktraject bij verschillende zeespiegelstijgingen. Deze gegevens zijn aangeleverd door Rijkswaterstaat.

Aanpak:

1. **Data verzamelen:** Verzamelen van relevante gegevens over huidige dijktrajecten en zeespiegelstijgingsscenario's.
2. **Scenario-analyse:** Bepalen van de benodigde volumes zand en klei per dijktraject bij zeespiegelstijgingen van 1, 2 en 3 meter.
3. **Tijdsanalyse:** Analyseren van de benodigde volumes op verschillende tijdstippen: tot 2050, 2100, 2150 en 2200.

Rijkswaterstaat onderzocht in het kader van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (KP-ZSS) de gevolgen van verschillende zeespiegelstijgingsscenario's op de dijkversterkingsopgave. Deze scenario's – *Laag* (1 meter in 2200), *Gematigd* (2 meter in 2200), *Extreem* (3 meter in 2200) en *Zeer Extreem* (5 meter in 2200) – zijn geëvalueerd met behulp van de OKADER-tool. Op basis van de resultaten van deze analyses zijn benodigde volumes klei en zand bepaald (De Grave, 2024) voor versterkingsmaatregelen in diverse regio's, zoals de Rijn-Maasmonding, Waddenzee en Zuidwestelijke Delta. Voor de Oosterschelde werden ontbrekende gegevens geëxtrapoleerd op basis van vergelijkbare gebieden. De totale lengte van geanalyseerde dijktrajecten omvat 2731 kilometer. Voor meer achtergrond zie het memo (De Grave 2024).

Versterkingsmethoden

De analyses zijn gebaseerd op een traditionele aanpak waarbij bebouwing zoveel mogelijk wordt gespaard en constructieve maatregelen, zoals kwelschermen en stabiliteitswanden, worden toegepast in gebieden met beperkte ruimte, zie figuur 1. De versterkingsmaatregelen volgen een horizon van 50 jaar, resulterend in drie tot vier versterkingsrondes per dijktraject tot 2200.

Versterkingsmaatregel	
In grond/VZG	Constructief

Figuur 1 Per dijkvak bepalen van volumes en oppervlaktes van het versterkte dijklichaam (De Grave, 2024)

Integratie van beleidsanalyses

Om een completer beeld te krijgen, is aanvullende informatie uit beleidsstudies betrokken, zoals het Ruimte voor de Rivier 2.0 (voormalig Integraal Riviermanagement (IRM)), de Integrale Studie Waterveiligheid en Peilbeheer (ISWP) en de studie *Effectiviteit van Rivierverruiming*, zie figuur 2. Voor het IJsselmeergebied werden varianten zonder peilopzet gekoppeld aan het *Laag*-scenario, terwijl varianten met een peilopzet van 60 cm aan het *Extreem*- en *Zeer Extreem*-scenario werden gekoppeld. De analyses voor deze gebieden zijn uitgevoerd voor investeringsmomenten in 2025, 2075 en 2125.



Figuur 2 Berekende deelgebieden systeemanalyses KPZSS (De Grave, 2024)

Aannames

De berekening van sedimentbehoeften combineert volumes uit oorspronkelijke dijkprofielen met het materiaal dat nodig is voor opschaling. Hierbij wordt:

- Een gemiddelde kleilaagdikte aangenomen van 0,5 meter in het rivierengebied en 0,8 meter in andere regio's.
- Gerekend met 50% hergebruik van bestaande klei uit de dijk met variatieanalyses tussen 0% en 100%.

Analyse sedimentaanbod rivierengebied

Doel: Bepalen van de beschikbare volumes zand en klei in het rivierengebied (Nederrijn-Lek, Waal en Maas)

Aanpak:

Inventarisatie: Inventariseren van de beschikbare grondstoffen in het rivierengebied. Focus op klei met een kwalitatieve beschouwing van het beschikbare zand

De analyse naar sedimentbeschikbaarheid, op basis van de data en werkwijze gehanteerd door ingenieursbureau WSP (voorheen Lievense) (2020, 2021) in opdracht van de POV-DGG, richt zich op het bepalen van hoeveelheden klei, zand en andere sedimenten die aanwezig zijn in de uiterwaarden van rivieren. Hierbij is gebruik gemaakt van gegevens uit GeoTOP en Delfstoffen online, die een gedetailleerd beeld bieden van de lithologie van de bodem tot 25 meter onder NAP. De analyse is gedaan voor de Nederrijn-Lek, Waal en later voor de Maas. De uiterwaarden van de IJssel waren en zijn nu nog steeds niet beschikbaar in GeoTOP. Het doel was om een inzichtelijke verdeling van beschikbare grondstoffen te creëren, rekening houdend met zowel praktische als economische aspecten van winning die hieronder worden toegelicht.

Ondiepe en diepe lagen

Een belangrijk onderscheid in de analyse is gemaakt tussen sedimenten in ondiepe en diepe lagen:

- **Ondiepe lagen:** Deze bevinden zich boven de grondwaterstand (gemiddelde tussen de GHG en GLG) en zijn aantrekkelijk vanwege de lagere kosten van droge winning. Bovendien is klei vaak ondiep aanwezig, wat deze lagen geschikt maakt voor toepassing in de deklaag van een dijk.
- **Diepe lagen:** Sedimenten in deze lagen bevinden zich onder de grondwaterstand en vereisen natte winning. Hoewel dit complexer en duurder is, bevatten deze lagen vaak veel grotere volumes zand en grind.

Geclassificeerde sedimenten

De lithologie van het aanwezige materiaal is onderverdeeld in verschillende sedimentklassen, waaronder:

- Klei
 - Erosiële klasse 1 en 2
 - Erosiële klasse 3
- Fijn zand
- Middelgrof zand
- Grof zand
- Grind
- Overig

Binnen de klasse klei zijn aanvullende subcategorieën vastgesteld, afhankelijk van de mate waarin grof materiaal voorkomt. Dit onderscheid helpt bij het beoordelen van de geschiktheid van klei voor specifieke toepassingen in dijkversterkingen (erosieklassen).

Volumes geschikt voor winning

Om geschikte volumes voor sedimentwinning te identificeren, is een GIS-analyse uitgevoerd waarin gebieden in de uiterwaarden werden gefilterd op basis van diverse criteria, zoals:

- **Afstand tot primaire waterkeringen:** Binnen een straal van 100 meter vanaf de buitenteen van een dijk werden gebieden uitgesloten om de stabiliteit van keringen niet in gevaar te brengen.
- **Afstand tot andere objecten:** Inclusief nabijheid van het zomerbed, stortlocaties, bebouwing en verharde infrastructuur waarvan 50 meter afstand wordt gehouden.

Uitsluiting van locaties

De overgebleven gebieden na filtering zijn opgedeeld in vakken van 500 meter langs de rivierassen.

Deze segmenten kunnen daarna gefilterd worden op basis van de volgende eigenschappen:

- Eigendom van meer dan 10% particulier bezit (Ruimte voor de Rivier 2014)
- Aanwezigheid van natuur (Natura 2000 of NNN).
- Aanwezigheid van middelhoge of hoge archeologische waarden (Indicatieve Kaart Archeologische waarden (2008) - IKAW3)

Vergelijking vraag en aanbod

Doel: Vergelijken van de benodigde en beschikbare volumes zand en klei en rapporteren van de bevindingen.

Aanpak:

1. **Vergelijking per dijktraject:** Vergelijken van de benodigde en beschikbare volumes per dijktraject.
2. **Vergelijking per scenario:** Vergelijken van de resultaten per scenario van zeespiegelstijging.
3. **Vergelijking op tijdsmomenten:** Analyseren van de verschillen op de verschillende tijdsmomenten (2050, 2100, 2150, 2200).
4. **Uitsluitingen-analyse:** Vergelijken van de resultaten met en zonder de verschillende uitsluitingen

RESULTATEN

Sedimentvraag

Totaal benodigde volumes per scenario

De berekening van de benodigde sedimentvolumes laat zien hoe de vraag zich ontwikkelt per tijdsperiode en cumulatief toeneemt richting 2200. De totale vraag per scenario is te zien in tabel 1. De orde grote van de benodigde hoeveelheid sediment per dijktraject is te vinden in de bijlage.

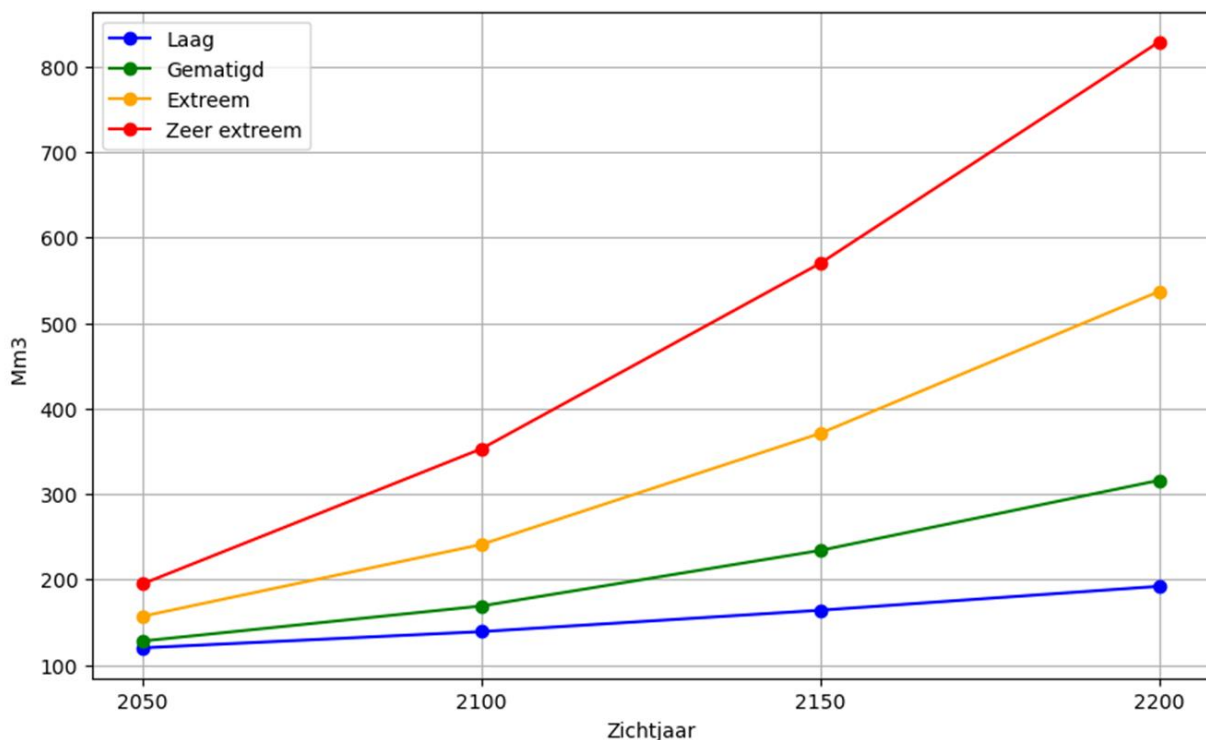
Tabel 1 Benodigde hoeveelheid dijkmateriaal (Mm3) per tijdlijn (som van klei en kernmateriaal) (De Grave, 2024)

Zichtjaar	Laag	Gematigd	Extreem	Zeer Extreem
2050	120	128	157	195
2100	19	41	84	158
2150	25	65	130	217
2200	28	82	166	259
Totaal	192	316	538	829

De benodigde volumes variëren aanzienlijk per scenario en tijdlijn, waarbij de behoefte aan nieuwe klei grotendeels afhankelijk is van hergebruikopties en versterkingsmethoden. Hoewel de volumes verschillen tussen tijdlijnen, zijn deze consistent met de toename van zeespiegelstijging en aanvullende eisen aan waterveiligheid.

Ontwikkeling over tijd

Figuur 3 toont de cumulatieve sedimentbehoefte van 2050 tot 2200 per scenario. Het verschil tussen scenario's wordt steeds groter naarmate de tijd vordert, wat de impact van zeespiegelstijging op sedimentvraag onderstreept. Het scenario "Zeer extreem" vereist vanaf 2100 aanzienlijke extra volumes, in lijn met de groei van de rivierafvoeren wat leidt tot de sterkere stijging in de vraag.



Figuur 1 Cumulatieve sedimentbehoefte (som klei en kernmateriaal) van 2050 tot 2200 per scenario (gegevens van De Grave (2024))

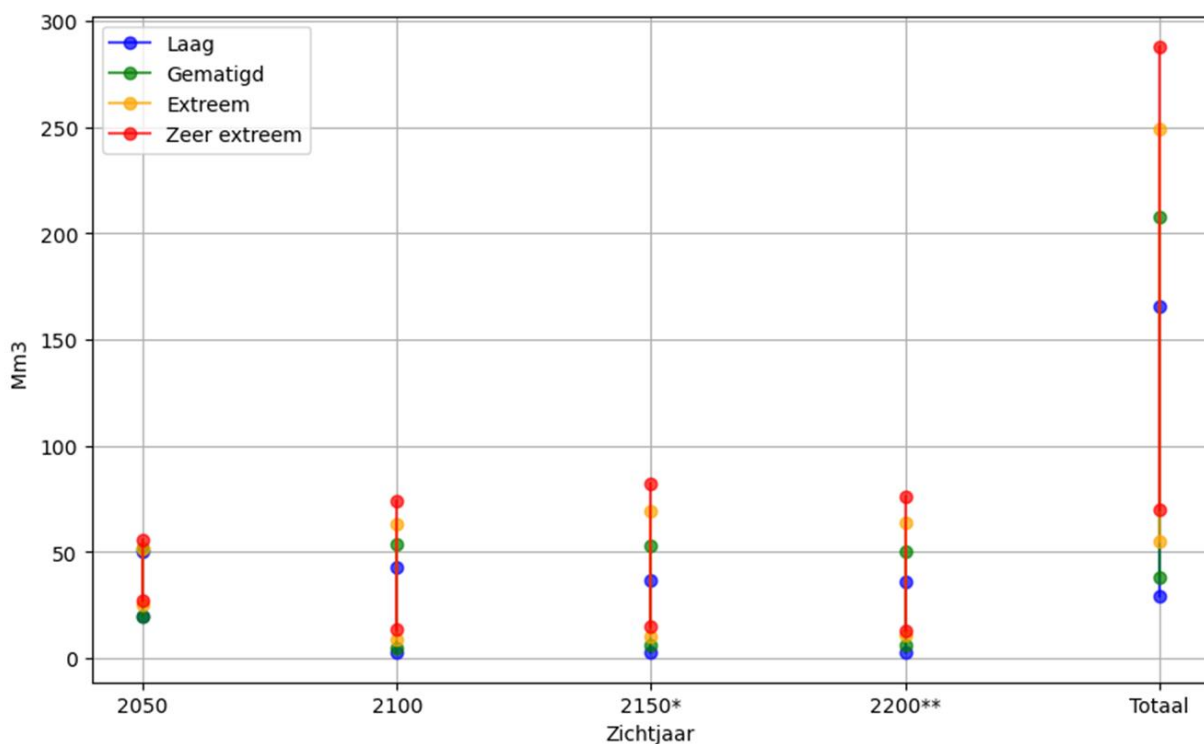
Tabel 2 Bandbreedte benodigde hoeveelheid klei (Mm³) per tijdlijn bij hergebruikfracties klei van 100 tot 0% (De Grave, 2024)

* excl. IRM gebied (Bovenrijn, Pannerdensch Kanaal, IJssel, IJssel-Vecht delta en Maasvallei)

** excl. IRM- en IJsselmeergebied

Tijdvak	Laag	Gematigd	Extreem	Zeer extreem
2050	20 – 50	20 – 52	25 – 52	27 – 56
2100	3 – 43	5 – 54	9 – 63	14 – 74
2150*	3 – 37	6 – 53	10 – 69	15 – 82
2200**	3 – 36	6 – 50	11 – 64	13 – 76
Totaal	29 – 166	38 – 208	55 – 249	70 – 288

De analyse van de sedimentbehoefte wijst ook op de belangrijke rol van hergebruik in het verduurzamen van sedimentgebruik. Met een hoger hergebruikpercentage kan de vraag naar nieuwe klei aanzienlijk worden verminderd, zie tabel 2. In figuur 4 zijn de bandbreedtes in het hergebruiken van klei bij het versterken van de dijk weergegeven. De hergebruikfractie heeft een groot effect op de totale benodigde hoeveelheid klei.



Figuur 2 Benodigde hoeveelheid klei per zichtjaar met bandbreedtes in hergebruikfracties van 100-0% per scenario ((gegevens van De Grave (2024))

Sedimentaanbod

Voorraad per regio en laag

De totale sedimentvoorraad in het rivierengebied is als volgt verdeeld:

- **Ondiepe lagen:**
 - Klei: 91,8 Mm³
 - Zand: 290,5 Mm³
- **Diepe lagen:**
 - Klei: 249,3 Mm³
 - Zand: 3277,2 Mm³
- **Totaal beschikbaar sediment:** 3908 Mm³

De diepe lagen leveren veruit de grootste bijdrage aan de totale sedimentvoorraad. Hoewel winning uit deze lagen hogere kosten met zich meebrengt, biedt dit een aanzienlijke marge voor toekomstige versterkingen.

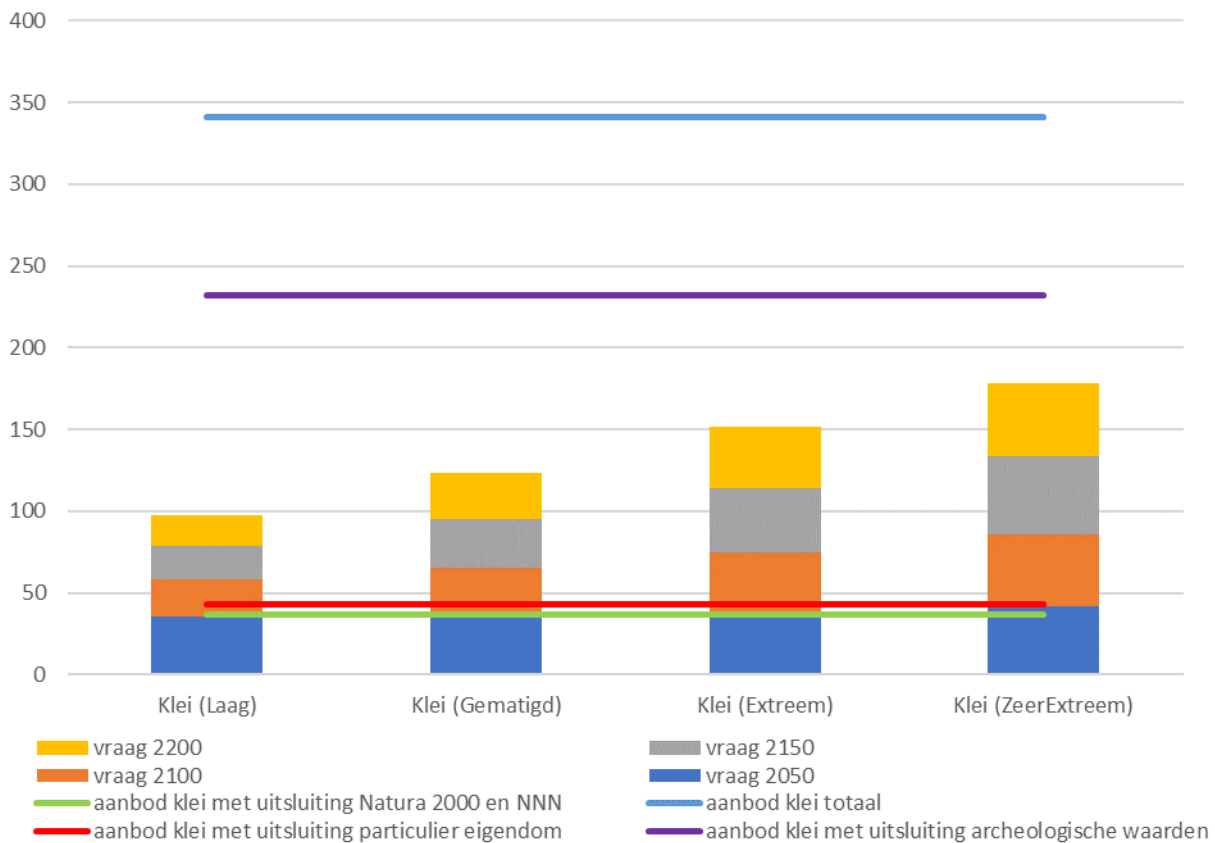
Het aanbod van zand en klei neemt af wanneer verschillende uitsluitingen op basis van de natuur, particulier eigendom en archeologische waarden worden gedaan. Een groot deel van de uiterwaarden zijn onderdeel van Natura 2000 en dit heeft een grote invloed op de beschikbaarheid van sediment voor winning. De meeste uiterwaarden hebben een lage verwachtingswaarde voor archeologie en de invloed van deze uitsluiting is een stuk kleiner. Langs de Waal en Nederrijn-Lek zijn grote delen van de uiterwaarden in staatseigendom, lagere overheden en andere overheidsorganisaties en is het particulier bezit beperkt. Langs het bovenstroomse gebied van de Maas is dat niet het geval en vallen meer segmenten van uiterwaarden af vanwege particulier bezit. In tabel 3 is een samenvatting van de analyse van de uitsluitingen op basis van natuur, archeologie en eigendom opgenomen, de volledige tabellen zijn te vinden in de bijlage.

Tabel 3 Aanbod van zand en klei met de verschillende uitsluitingen

	Klei (Mm ³)	Zand (Mm ³)	Totaal
Totaal aanbod	341,0	3567,8	3908,8
Aanbod met uitsluiting Natura 2000 en NNN	36,7	334,2	370,9
Aanbod met uitsluiting particulier eigendom	42,7	427,4	470,1
Aanbod met uitsluiting archeologische waarden	231,8	2306,2	2538,0

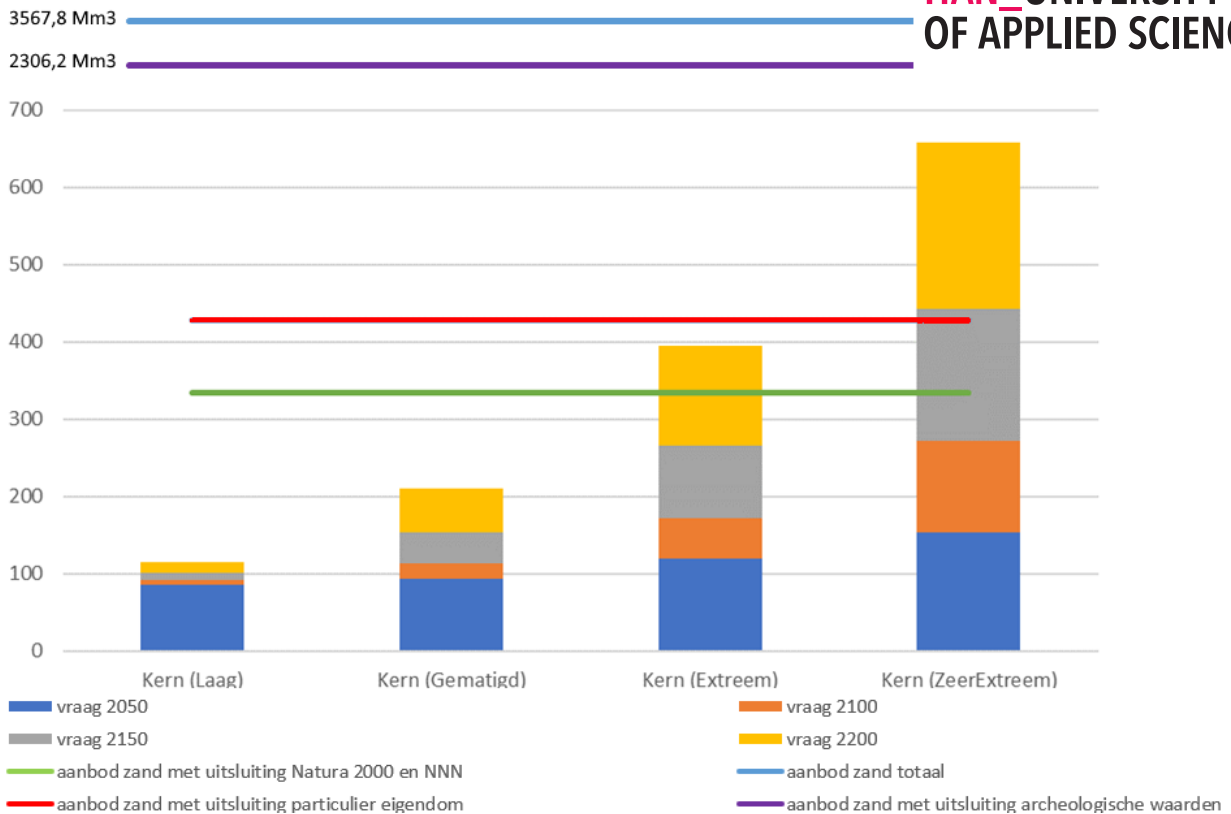
Vergelijking vraag en aanbod

De vergelijking tussen de sedimentvraag per scenario en de totale beschikbare voorraad wijst uit dat het aanbod de vraag overstijgt wanneer er geen uitsluitingen of uitsluitingen op basis van de archeologische waarden worden gedaan. Dit geldt voor zowel klei (figuur 5) als zand (figuur 6). Het verschil (overschot) benadrukt de mogelijkheid om zelfs onder zeer extreme omstandigheden in de behoeften te voorzien. Wanneer er uitsluitingen op basis van particulier eigendom of natuur worden gedaan geldt dit alleen voor de vraag naar sediment tot 2050.



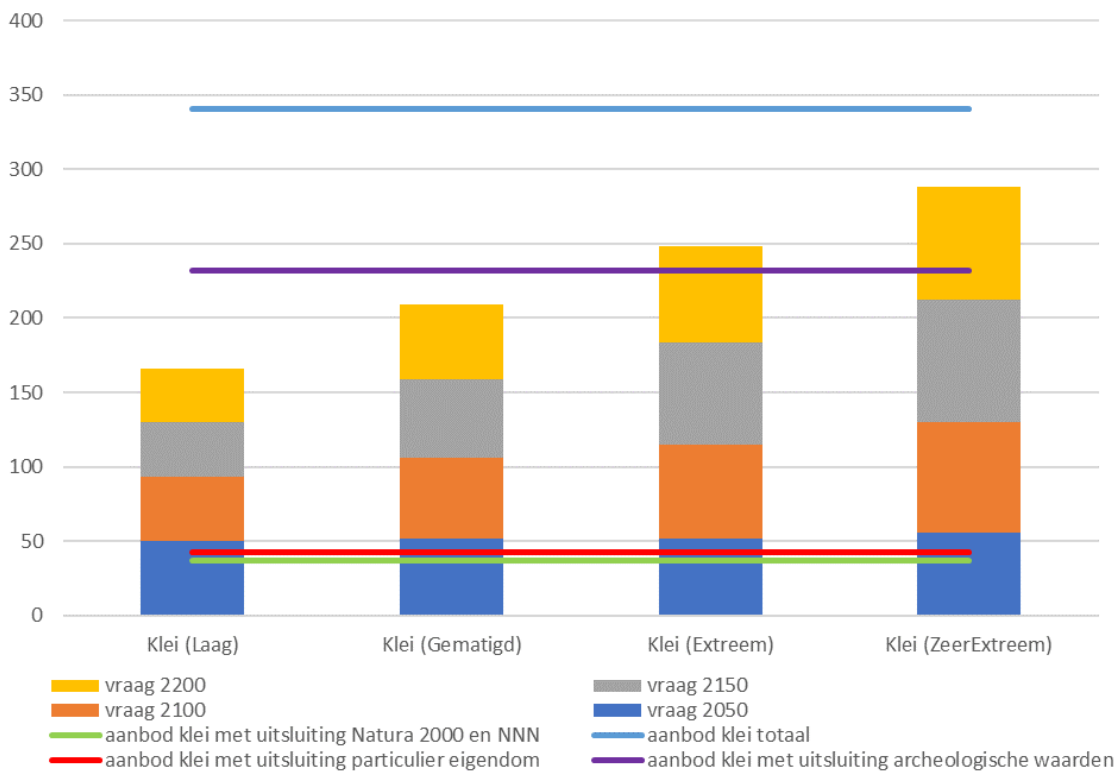
Figuur 5 Vergelijking van de vraag en aanbod in klei (Mm³) voor de verschillende scenario's van zeespiegelstijging en versterkingsrondes

Bij zand zien we dezelfde trend als bij klei, maar in figuur 6 zou het totale aanbod van 3567,8 Mm³ en 2306,2 Mm³ met uitsluitingen van archeologische waarden boven het zichtbare bereik van de figuur vallen. Zelfs met uitsluitingen op basis van natuur en particulier eigendom kan er voldaan worden aan de vraag in het meest extreme scenario tot 2100.



Figuur 6 Vergelijking van het vraag en aanbod in zand (Mm³) voor de verschillende scenario's van zeespiegelstijging en versterkingsrondes

In figuur 5 is in navolging van De Grave (2024) uitgegaan van een hergebruikpercentage van 50% van de bestaande klei in de dijk. Wanneer er wordt uitgegaan van minder of geen hergebruik heeft dat een grote invloed op de benodigde hoeveelheid klei. In figuur 7 is dezelfde vergelijking tussen vraag en aanbod gemaakt maar dan zonder hergebruik van klei.

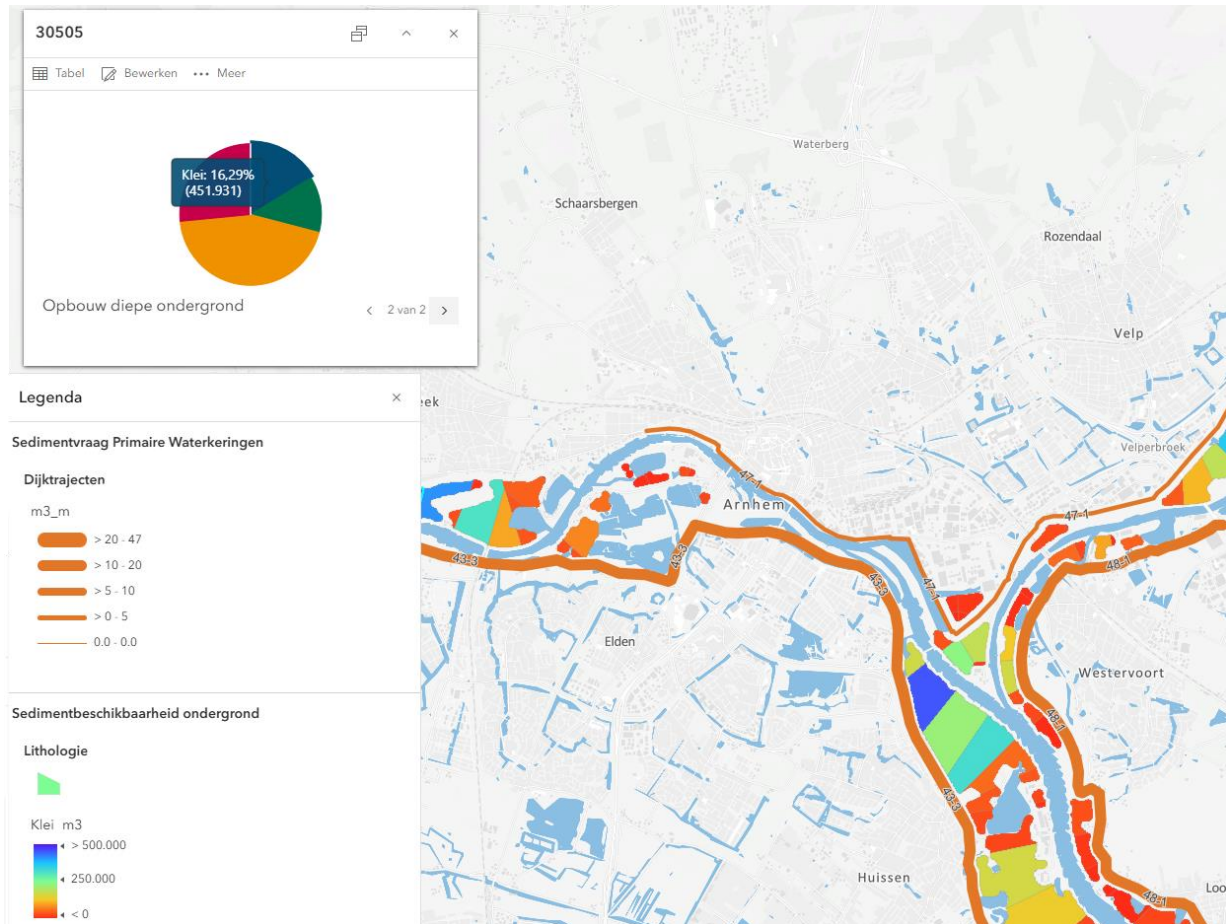


Figuur 7 Vergelijking van de vraag en aanbod in klei (Mm³) voor de verschillende scenario's van zeespiegelstijging en versterkingsrondes zonder hergebruik van klei uit de bestaande dijk

De analyse en onderliggende data is beschikbaar gemaakt in een viewer (figuur 8). Hier kan de versterkingsopgave van elk dijktraject en de sedimentbeschikbaarheid bekeken worden.

<https://han.maps.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=2653a6d381304625b87d0c00>

26401e39



Figuur 8 De kansenscan zeespiegelstijging

DISCUSSIE

De analyse naar sedimentbeschikbaarheid en vraag voor dijkversterking binnen het Kennisprogramma Zeespiegelstijging biedt waardevolle inzichten, maar kent ook enkele beperkingen en onzekerheden. De gebruikte methode is een effectief hulpmiddel om kansrijke locaties voor sedimentwinning in kaart te brengen, maar is gebaseerd op aannames en datasets met een relatief lage resolutie. Ook is er alleen buitendijks in de uiterwaarden gezocht naar materiaal en zijn de uiterwaarden van de IJssel nog niet beschikbaar in het gebruikte ondergrondmodel (Geotop). Gegevens van Geotop (100x100 meter raster) en Delfstoffen online (250x250 meter raster) bieden een indicatie van de textuur van de bodem, maar zijn mogelijk niet voldoende gedetailleerd om alle nuances in sedimentkwaliteit te identificeren. Hierdoor kunnen volumes overschat of onderschat worden. Bovendien is de fysische en chemische kwaliteit – een kritische factor voor de toepassing van sediment in dijken. Niet alle sediment is geschikt voor hoogwaardige toepassingen zonder aanvullende behandeling, en de eigenschappen kunnen variëren afhankelijk van de locatie en diepte van winning.

Een belangrijke kanttekening bij het benutten van sediment als grondstof is dat de daadwerkelijke winbare volumes sterk afhankelijk zijn van de benadering waarmee de winning plaatsvindt. Hoewel lokaal sedimentgebruik transportemissies kan verminderen, brengt grootschalige winning ook risico's met zich mee, zoals verstoring van kwetsbare natuurgebieden en (lokaal) verhoogde stikstofdepositie. Wanneer het afgraven wordt uitgevoerd volgens het DNA van de rivier, waarbij gestreefd wordt naar een natuurlijke rivierdynamiek en ecologisch herstel, kunnen de beschikbare volumes aanzienlijk lager uitvallen (Barciela-Rial et al., 2024). Dit vraagt om een zorgvuldige afweging van ecologische, economische en maatschappelijke effecten.

De toekomstige vraag naar sediment is evenmin zonder onzekerheden. Klimaatverandering kan zowel het tempo als de omvang van zeespiegelstijging beïnvloeden, wat directe gevolgen heeft voor de frequentie en omvang van versterkingsrondes. Tegelijkertijd kunnen technologische innovaties, zoals de inzet van alternatieve materialen of geavanceerde technieken voor dijkversterking, de afhankelijkheid van traditionele grondstoffen verminderen. Daarnaast is de methode voor het inschatten van de benodigde hoeveelheden gebaseerd op standaard dijkprofielen en faalmechanismen, terwijl variaties in lokale omstandigheden of onverwachte faalmechanismen de vraag kunnen beïnvloeden.

Ondanks deze beperkingen biedt de analyse een sterk uitgangspunt. De identificatie van grote sedimentreserves in zowel ondiepe als diepe lagen laat zien dat Nederland in staat is om lokaal in de toekomstige vraag te voorzien. Meekoppelkansen met projecten zoals rivierverruiming bieden mogelijkheden om sedimentwinning te combineren met ecologische en ruimtelijke doelstellingen. Dit benadrukt het belang van samenwerking tussen betrokken partijen om sedimentbeheer integraal aan te pakken.

CONCLUSIE

Dit onderzoek toont aan dat Nederland beschikt over voldoende sediment om toekomstige dijkversterkingsopgaven het hoofd te bieden. De totale voorraad in de uiterwaarden van 3908 Mm³ aan klei en zand is ruim voldoende om zelfs in het "Zeer extreem"-scenario – met een maximale sedimentvraag van 829 Mm³ – te voorzien. Echter wanneer uitsluitingen op basis van archeologie, eigendom en natuur worden gedaan daalt het aanbod respectievelijk naar 2538, 470 en 371 Mm³. Daarmee is niet gezegd dat daarmee de natuur wordt ontzien, de natuur kan ook buiten Natura 2000 gebieden worden geschaad. Maar de beschikbaarheid benadrukt het potentieel van Nederland om gebiedseigen grond in te zetten voor waterveiligheidsdoeleinden.

De analyse wijst ook op de belangrijke rol van hergebruik in het verduurzamen van sedimentgebruik. Tegelijkertijd tonen de resultaten dat er grote kansen liggen in de diepe sedimentlagen, die aanzienlijke volumes bevatten. Hoewel natte winning complexer en duurder is, biedt deze optie een robuuste reserve voor de lange termijn. De rivierkundige effecten en de effecten op het grondwater kunnen hierbij alleen niet genegeerd worden.

Toch blijven er onzekerheden bestaan. De vraag naar sediment is gevoelig voor klimaatverandering, technologische ontwikkelingen en variaties in faalmechanismen. Daarnaast is de bodemkwaliteit (milieu-hygiënisch en fysisch) niet volledig in kaart gebracht, wat de praktische toepasbaarheid van bepaalde sedimenten kan beperken.

Om deze inzichten te vertalen naar concrete acties is een integrale benadering van sedimentbeheer noodzakelijk. De opgaven in natuur, waterveiligheid en zoetwaterbeschikking, gebrek aan grondstoffen en effecten van winning moeten als één geheel worden beschouwd. Door vraag en aanbod strategisch op elkaar af te stemmen, stakeholders actief te betrekken en duurzaamheid centraal te stellen, kan er een belangrijke stap gezet worden naar een robuust en toekomstbestendig waterveiligheidsbeleid.

AANBEVELINGEN

Op basis van de resultaten van dit onderzoek wordt het aanbevolen om een grondstofstromenplan, waarin de vraag en beschikbaarheid van sediment op lange termijn worden afgestemd, op te stellen. Een belangrijk onderdeel hiervan is het uitvoeren van een analyse van de sedimentvoorraden in de IJssel, zodra de gegevens uit het GeoTOP-model beschikbaar zijn. Dit zal een vollediger beeld geven van de sedimentbeschikbaarheid in dit rivierengebied. Ook het ruimtelijke aspect is daarbij belangrijk; waar en wanneer is de grond nodig en kan deze op dat moment in de buurt gewonnen worden? Op basis van de inzichten opgedaan in dit onderzoek zou deze analyse gemaakt kunnen worden.

Daarnaast is het noodzakelijk om verder onderzoek te doen naar de fysische en chemische eigenschappen van sediment, zodat bepaald kan worden welk materiaal geschikt is voor toepassingen in dijkversterking en welke behandelingen nodig zijn om minder geschikt sediment bruikbaar te maken.

Ook moeten de effecten van sedimentwinning uitgebreid worden onderzocht. Grootschalige afgravingen kunnen aanzienlijke gevolgen hebben voor de rivierdynamiek, ecosystemen en waterveiligheid. Daarom is het van belang om de mogelijke hydrologische en ecologische impact van sedimentwinning, zoals vernatting of verdroging van uiterwaarden en stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden, in kaart te brengen. Daarnaast moeten de ruimtelijke gevolgen van afgravingen worden geanalyseerd, met specifieke aandacht voor het behoud van cultuurlandschap en de ruimtelijke kwaliteit van uiterwaarden. Dit zou meegenomen kunnen worden in het programma Ruimte voor de rivier 2.0.

Met deze aanpak kan er een duurzame en adaptieve strategie ontwikkeld worden die niet alleen voorziet in voldoende sediment voor dijkversterking, maar ook aansluit bij bredere maatschappelijke en ecologische doelen.

REFERENTIES

Barciela-Rial, M., Podt, M., Kamminga, J. Rijke, J.S. 2024 Landscape based extraction of clay, sand and gravel from floodplains in the Netherlands. *Proceedings Riverflow 2024*.

Den Daas, J.H., Barciela-Rial, M., Schurink, E., Rijke, J. 2024 Soil based programming of river dyke reinforcement. *Proceedings Riverflow 2024*.

Grave, P. de, 2024. Hoeveelheid grondstoffen in dijkversterkingen systeemanalyses KP-ZSS. Memo Deltares 11210315 dd. 24 juli 2024

WSP. 2020. QuickScan gebiedseigen grond langs de Waal en Nederrijn-Lek.

WSP. 2021. Quickscan gebiedseigen grond langs de Maas en de Lob van Genneep.

Tabel 4 Resultaten van de analyse van het aanbod in sediment

Volumes (Mm3)	Waal, Nederrijn-Lek	Maas	Totaal
Klei (totaal)	24,0	67,7	91,8
Fijn zand	3,7	13,9	17,7
Middelgrof zand	29,4	158,8	188,2
Grof zand	23,3	61,4	84,7
Grind	1,2	60,0	61,2
Overig	86,5	221,4	308,0
Klei (klasse 1 & 2)	4,4	11,3	15,6
Klei (klasse 3)	19,7	56,5	76,2
Onder ↓ en boven ↑ de grondwaterspiegel			
Klei (totaal)	129,5	119,7	249,3
Fijn zand	152,0	326,9	478,9
Middelgrof zand	500,4	789,1	1289,5
Grof zand	656,2	852,8	1508,9
Grind	107,7	759,9	867,7
Overig	0,5	15,1	15,7
Klei (klasse 1 & 2)	18,9	15,3	34,3
Klei (klasse 3)	110,6	104,4	215,0

Tabel 5 Resultaten van de analyse van het aanbod in sediment met uitstuiting van middelhoge en hoge kans op archeologische waarden

Volumes (Mm3)	Waal, Nederrijn-Lek	Maas	Totaal
Klei (totaal)	22,6	27,4	50,0
Fijn zand	3,7	4,8	8,5
Middelgrof zand	28,7	37,3	66,0
Grof zand	22,8	15,1	38,0
Grind	1,2	23,9	25,1
Overig	83,8	109,8	193,6
Klei (klasse 1 & 2)	4,0	4,2	8,2
Klei (klasse 3)	18,6	23,2	41,8
Onder ↓ en boven ↑ de grondwaterspiegel			
Klei (totaal)	122,8	59,0	181,8
Fijn zand	146,1	144,3	290,4
Middelgrof zand	472,2	382,9	855,1
Grof zand	631,0	417,3	1048,3
Grind	107,5	222,5	330,1
Overig	0,5	3,5	4,1
Klei (klasse 1 & 2)	17,4	6,7	24,1
Klei (klasse 3)	105,4	52,3	157,7

Tabel 6 Resultaten van de analyse van het aanbod in sediment met uitstuiting van Natura 2000 gebieden

Volumes (Mm3)	Waal, Nederrijn-Lek	Maas	Totaal
Klei (totaal)	0,68	11,04	11,73
Fijn zand	0,11	2,36	2,47
Middelgrof zand	0,96	17,17	18,13
Grof zand	0,43	6,45	6,88
Grind	0,31	6,35	6,66
Overig	2,75	29,36	32,12
Klei (klasse 1 & 2)	0,12	1,91	2,04
Klei (klasse 3)	0,56	9,13	9,69
Onder ↓ en boven ↑ de grondwaterspiegel			
Klei (totaal)	3,58	21,43	25,01
Fijn zand	5,16	63,56	68,72
Middelgrof zand	8,71	116,55	125,26
Grof zand	16,91	95,80	112,71
Grind	1,20	105,54	106,74
Overig	0,12	1,73	1,85
Klei (klasse 1 & 2)	0,29	2,94	3,22

Tabel 7 Resultaten van de analyse van het aanbod in sediment met uitstuiting van particulier eigendom (>10%)

Volumes (Mm3)	Waal, Nederrijn-Lek	Maas	Totaal
Klei (totaal)	5,2	3,0	8,2
Fijn zand	1,0	0,4	1,4
Middelgrof zand	7,4	1,8	9,2
Grof zand	7,2	0,6	7,7
Grind	0,5	0,1	0,7
Overig	19,4	3,9	23,3
Klei (klasse 1 & 2)	0,9	0,3	1,2
Klei (klasse 3)	4,3	2,7	7,0
Onder ↓ en boven ↑ de grondwaterspiegel			
Klei (totaal)	29,0	5,4	34,5
Fijn zand	36,5	19,5	56,0
Middelgrof zand	105,3	52,3	157,6
Grof zand	153,5	42,0	195,5
Grind	25,1	9,3	34,4
Overig	0,1	0,0	0,1
Klei (klasse 1 & 2)	4,2	0,6	4,8
Klei (totaal)	24,8	4,9	29,6



Scenario extreem
tot 2100
m3 klei per strekkende
meter dijk

- 0
- 0-5
- 5-10
- 10-15
- 15-20
- >20
- Niet meegenomen

Versterkingsbehoefte dijktrajecten



Schaal: 1:1.500.000
Coördinatenstelsel: RD New

0 10 20 40
Kilometers



