



Memo

Datum	Ons kenmerk	Aantal pagina's
26 september 2019	11203683-002-ZKS-0001	45
Contactpersoon	Doorkiesnummer	E-mail
Marc Hijma	+31(0)88 335 7869	Marc.Hijma@deltares.nl

Onderwerp

Hellingkaart: tool voor identificatie geologische invloed getijdengeulen / Update kaart erosie-resistente lagen

Binnen het deelproject "Invloed geologische opbouw ondergrond op lange termijn kust- en getijdenbekken ontwikkeling" van het KPP-Programma Beheer en Onderhoud Kust (onderdeel 4C1) wordt gewerkt met een lange-termijn plan. Binnen dit plan zijn verschillende onderzoekslijnen opgezet:

1. Inzichtelijk maken waar langs de Nederlandse kust de morfologische ontwikkeling gestuurd wordt door geologische lagen in de ondergrond.
2. Kwantificering van de erosiegevoeligheid van de verschillende erosie-resistente afzettingen, zoals keileem, potklei en basisveen. Dit is noodzakelijke voeding voor modellen.
3. Implementeren geologie/ondergrond in hydro/morfodynamische modellen.
4. Overzicht van steile oevers en plateaus in geulwanden langs de gehele Nederlandse kust en inzichtelijk maken van potentiële risico's op infrastructuur en beheer en onderhoud van de kust.
5. Prioritering van gebieden waar aanvullende data nodig zijn.

Dit memo beschrijft werkzaamheden aan onderzoekslijnen 1 en 4. Omdat deze lijnen sterk aan elkaar gerelateerd zijn worden ze in één memo gerapporteerd. De werkzaamheden voor hoofdstuk 1 zijn met name uitgevoerd door Marc Hijma, voor hoofdstuk 2 met name door Erik van Onselen.

1 Update kaart erosie-resistente lagen

De eerste onderzoekslijn betreft het 'Inzichtelijk maken waar langs de Nederlandse kust de morfologische ontwikkeling gestuurd wordt door geologische lagen in de ondergrond'. De laatste paar jaar zijn belangrijke stappen gezet binnen deze onderzoekslijn, met name door het geven van een regionaal overzicht van de aanwezigheid van erosie-resistente lagen. De hiervoor gemaakte kaart wordt inmiddels regelmatig gebruikt. Het eerste deel van dit memo beschrijft de huidige versie van de kaart (Figuur 1.1) met de verbreiding van erosie-resistente lagen binnen het kustfundament en de getijdenbekkens. Deze kaart is bij deze memo meegeleverd. De eerste versie is beschreven in Hijma (2017b). Dat rapport beschrijft ook de algemene werkwijze om de kaart te maken, deze is niet gewijzigd, en waarom welke lagen zijn opgenomen. In grote lijnen zijn buiten de getijdengeulen de verbreidingsgebieden van alle relevante erosie-resistente lagen boven de -15 m NAP opgenomen; binnen en nabij getijdengeulen zijn erosie-resistente lagen opgenomen over het gehele dieptebereik van de geul.

Gebruikte databronnen zijn boringen en sonderingen uit Dinoloket, geologische modellen (met name GeoTOP), geologische kaarten en andere geologische literatuur.

Ten opzichte van de versie uit 2017 zijn enkele wijzigingen aangebracht. De belangrijkste zijn nabij Katwijk en voor de kust van Terschelling (Kustgenese 2-project, pers. comm. Ad van der Spek; het Borndiep bij Ameland (op basis van Vermaas, 2018; Vermaas et al., 2018), in het gebied van de Eems-Dollard (Pierik et al., 2019; Pierik et al., 2019 (verwacht)). Daarnaast is de naamgeving van de gebieden gewijzigd. Het kustgebied is nu opgedeeld in 5 hoofdgebieden en de verbreidingen van de lagen hebben codes gekregen die te herleiden zijn naar het hoofdgebied. In Hijma (2017b) worden de kenmerken van de gebieden met erosie-resistente lagen in het Engels beschreven, hieronder worden per hoofdgebied de kenmerken in het Nederlands beschreven.

1.1 Zuidwestelijk kustgebied

Gebied	Omschrijving
ZW1 - Westerschelde - Wielingen - Westgat	<p>Hoewel er lokaal zeker Holocene klei- en veenlagen voorkomen in de nabijheid van de getijdengeulen in dit gebied, lijken vooral Tertiaire en Vroeg-Pleistocene afzettingen van invloed op hun morfologische ontwikkeling. De erosie-resistente lagen liggen met name aan de basis van de geulen en beïnvloeden daarmee vooral de diepteontwikkeling en minder de snelheid van laterale migratie van de geulen. Het is goed mogelijk dat de geulen relatief breed zijn, omdat verdieping bemoeilijkt wordt (Van der Spek, 1997; Hijma, 2017a; Forzoni et al., 2018).</p> <p>In de westelijke helft van de Westerschelde gaat het vooral om de top van de Boomklei van de Formatie van Rupel (rond -20 m NAP). In de meer oostelijke delen van de Westerschelde, eveneens beginnend rond -20 m NAP, zijn het vooral kleilagen van de Formaties van Waalre en Oosterhout die relatief erosie-resistent zijn.</p>
ZW2 - Put van Hansweert	<p>Recent onderzoek laat zien dat aan de westzijde van de geul (Overloop van Hansweert) waarschijnlijk klei van de Formatie van Waalre rond -24 m NAP in de wand zit. De bodem van de put (rond -36 m NAP) staat in contact met klei van de Formatie van Oosterhout.</p>
ZW3 - Vlakte v/d Raan	<p>De Vlakte van de Raan is een breed plateau bij de monding van de Westerschelde met een gemiddelde diepteligging van -7 m NAP. De beschikbare boringen liggen vrijwel allemaal bij de oostelijke grens van het plateau. Verschillende boringen laten metersdikke kleipakketten zien die dicht onder de bodem beginnen. Tertiaire afzettingen, die vaak relatief resistent zijn, zijn vanaf -20 m NAP aanwezig.</p>
ZW4 - Randen Oosterschelde	<p>Langs de noordwestelijke oever van Walcheren komen tussen 0 en -7 m NAP dikke Holocene kleipakketten voor, met daarbinnen ook veenlagen. De zeevaartse verbreidingen van deze pakketten is onduidelijk, maar zeer waarschijnlijk beïnvloeden ze in enige mate de kustnabije morfodynamiek. In het verleden dagzoomden er</p>

ZW5
- Geulen
Oosterschelde

regelmatig kleilagen op het strand (Van Alphen & Damoiseaux, 1987), maar sinds de start van het suppletieprogramma gebeurt dit niet meer. De twee grootste plateaus in het gebied worden door Van Alphen en Damoiseaux (1987) gekoppeld aan het ondiep voorkomen van erosie-resistente lagen, maar het er is feitelijk geen data beschikbaar om dit te bevestigen of te ontcrachten.

De basis van deze geulen reikt soms dieper dan -30 m NAP en daarmee tot in de Vroeg-Pleistocene afzettingen van de Formaties van Waalre en Maassluis. Hoewel deze afzettingen oud zijn, en daardoor relatief meer erosie-resistent dan Holocene afzettingen, is de exacte aard van de afzettingen niet bekend. De weinige boringen die beschikbaar zijn laten vooral zandige afzettingen zien en de invloed van deze afzettingen op de morfodynamiek is daardoor mogelijk beperkt.

Op de voormalige eilanden Noord-Beveland en Schouwen komen op regionale schaal dikke pakketten Holocene klei- en veenlagen voor. Ongetwijfeld hebben deze invloed gehad, of wellicht nog steeds, op de laterale migratiesnelheden van getijdengeulen in de Oosterschelde. In dit gebied wordt de morfodynamiek overigens ook juist bepaald door de aanwezigheid van zeer losgepakte zanden: waar deze zanden dagzomen is de kans op zettingsvloeiingen relatief groot.

ZW6
- Grevelingen en
Haringvliet

De basis van deze geulen reikt soms dieper dan -30 m NAP en daarmee tot in de Vroeg-Pleistocene afzettingen van de Formatie van Waalre. Boringen laten een dikke kleilaag zien aan de top van deze Formatie. Rond de -20/-25 m NAP komen verder nog kleilagen voor van de Eem Formatie (Grevelingen) en de Formatie van Kreftenheye (Haringvliet) die het geulgedrag beïnvloeden.

ZW7
- RijnMaasmond

De verbreiding van de Laat-Glaciële/Vroeg-Holocene klei- en veenlagen in dit gebied is relatief goed bekend door de beschikbaarheid van geïnterpreteerde seismiek en boringen. Vrijwel altijd komen deze beneden de -15 m NAP voor en hun invloed op de huidige kustontwikkeling is daardoor naar verwachting beperkt. In het verleden zijn ze zeker van invloed geweest op de kustontwikkeling en deze invloed wordt mogelijk nog gereflecteerd door een relatief flauwe helling van de vooroever (0.2-0.25%, ten noorden van dit deelgebied oplopend naar 0.3-0.4%) en een relatief lage gemiddelde korrelgrootte.

1.2 Centraal kustgebied: Hollandse kust

Gebied	Omschrijving
CE1 - Oude Rijn Delta	Dit deelgebied ligt ter plekke van de delta van de Oude Rijn die in de omgeving van Katwijk zijn monding had tussen 5700-828 jaar geleden (Cohen et al., 2012). In riviermondingsgebieden kunnen organische kleilagen verwacht worden, kleiig opgevulde geulen en ook veenlagen. Rondom Rotterdam, waar de Rijn voor en na de Oude Rijn-periode zijn hoofdmonding had (Hijma et al., 2009), worden deze afzettingen veelvuldig aangetroffen en zijn goed gekarteerd. Voor de Oude Rijn-monding is de verbreiding van dergelijke afzettingen veel minder bekend. Seismisch onderzoek heeft laten zien dat, deels kleiige, (pro)delta tot ver de Noordzee op nog aanwezig zijn rond dieptes van -19 m NAP (Van Heteren & Van der Spek, 2008). Recent onderzoek in het kader van Kustgenese 2 laat, dicht bij de kust en rond -11 m NAP, ook de aanwezigheid van organische klei zien (Van der Spek, pers. comm.). Het is goed mogelijk dat de kustontwikkeling door de aanwezigheid van deze delta-afzettingen beïnvloed wordt.
CE2 - IJmuiden	Dit deelgebied wordt gekarakteriseerd door het regionale voorkomen van klei- en veenlagen tussen -16 en -20 m NAP. Ook hier geldt dat hun invloed op de huidige kustontwikkeling waarschijnlijk beperkt is, maar gezien de grote verbreiding en het feit dat de vaargeul naar IJmuiden, erosiekuil en enkele erosiekuilen bij de pieren tot deze diepte reiken zijn ze toch opgenomen in de kaart. De vooroever in dit deelgebied ligt relatief vlak ten opzichte van de vooroever direct ten noorden en ten zuiden, mogelijk gelinkt aan de aanwezigheid van de <i>shoreface-connected ridges</i> .
CE3 - Bergen	Dit deelgebied wordt gedomineerd door de aanwezigheid van de Laag van Bergen van de Formatie van Naaldwijk. Deze dikke kleilaag, soms meer dan 10 m dik, heeft zijn top net beneden de -15 m NAP liggen.
CE4 - Petten-Den Helder	In dit deelgebied liggen Pleistocene afzettingen relatief hoog, soms boven de -10 m NAP. De afzettingen zijn sterk heterogeen en bevatten klei- en veenlagen uit het Weichselien (laatste ijstijd). Lokaal komen ook kleilagen van de Eem Formatie voor. Daarnaast komen eveneens in de Holocene afzettingen veel kleilagen voor.
CE5 - Nieuw Schulpengat tot Marsdiep	Dezelfde afzettingen als in CE3 kunnen verwacht worden. De geulen van het Nieuwe Schulpengat-Marsdiepsysteem reiken dieper dan -25 m NAP en raken daarbij afzettingen van de Eem Formatie die uit 5 m dikke kleilagen kunnen bestaan (Van der Spek & Van Heteren, 2004).

1.3 Westelijke wadden: Texel-Vlieland-Terschelling

Gebied	Omschrijving
--------	--------------

Datum
26 september 2019

Ons kenmerk
11203683-002-ZKS-0001

Pagina
5 van 45

<p>WW1 - Vooroevers Texel en Vlieland</p>	<p>Keileem is aanwezig boven de -15 m NAP aan zowel de Noordzee- als de Waddenzeekant van Texel en Vlieland.</p>
<p>WW2 - Getijdengaten Texel en Vlieland</p>	<p>De top van de keileem ligt hier naar verwachting rond de -10 m NAP, een diepte waar beneden de geulbodems regelmatig reiken.</p>
<p>WW3 - Balgzand en Lutjeswaard</p>	<p>Dit deelgebied omvat uitgestrekte intergetijdengebieden met veel keileem in de ondergrond. Met name beneden de Lutjeswaard komt ondiep keileem voor, lokaal al rond -5 m NAP. Beneden het Balgzand is de keileem soms afwezig. Op veel plaatsen, vooral beneden het Balgzand, komen ook Holocene basisveen- en kleilagen voor.</p>
<p>WW4 - Texelstroom, Malzwin</p>	<p>Deze geulen reiken op veel plaatsen ver beneden de -15 m NAP, waarbij ze in contact staan met de keileem. De diepste delen reiken tot de Formatie van Urk die dikke kleilagen kan bevatten.</p>
<p>WW5 - Vlake van de Kerken, De Hengst en Waardgronden</p>	<p>Op veel plaatsen start de keileem rond -10 m NAP, maar soms al rond -7 m NAP. Daarnaast komen Holocene basisveen- en kleilagen voor, met name tussen -1 en -7 m NAP.</p>
<p>WW6 - Zuideinde Vliestroom</p>	<p>Dit deel van de Vliestroom is ongeveer 15 m diep, met keileem in de flanken. De diepste delen reiken beneden de -20 m NAP, waarbij lokaal kleilagen van de Eem Formatie en Formatie van Urk bereikt zullen worden. De bovenste 5 m van de ondergrond bestaat uit Holocene afzettingen die soms dikke veenlagen omvatten.</p>
<p>WW7 -Westmeep</p>	<p>Het profiel van de Westmeep laat een aantal plateaus zien die vermoedelijk gekoppeld kunnen worden aan erosie-resistente lagen. Boringen laten rond -7 m NAP klei-op-basisveen zien en rond -8 m NAP grindig leem. Hoewel deze beschrijving overeenkomt met keileem, wordt keileem bij de Westmeep eigenlijk pas rond -20 m NAP verwacht. Wellicht dat de diepste delen van de Westmeep in contact staan met het keileem.</p>
<p>WW8 - Grienderwaard</p>	<p>De Grienderwaard ligt rond gemiddeld zeeniveau. De Holocene afzettingen zijn ongeveer 6-7 m dik en de onderste helft daarvan bestaat uit klei- en veenlagen. De Pleistocene afzettingen daaronder lijken tot minstens -18/-20 m NAP hoofdzakelijk te bestaan uit zand.</p>
<p>WW9 - Vlieree</p>	<p>Dit deel van het zeegat wordt gekenmerkt door twee plateaus. De meest ondiepe ligt rond -7 m NAP, de diepte waarop klei-op-basisveen wordt verwacht. Het diepere plateau ligt rond -19 m NAP, de diepte waarop keileem wordt verwacht. Er zijn geen boringen in de buurt.</p>

WW10
- Noordmeep

Dit deel van de Noordmeep heeft over een afstand 300 m een erg vlakke bodem rond -19 m NAP. Dit komt overeen met de diepte waarop keileem voorkomt in de omgeving.

WW11
- Borndiepdal

Het beekdal van de Borne kan de Noordzee op vervolgd worden. Tijdens de transgressie waren hier getijdengeulen actief die deels kleilig opgevuld zijn. Dit volgt uit seismische profielen (Ad van der Spek, pers. comm.).

1.4 Oostelijke wadden: Ameland-Schiermonnikoog-Rottumeroog

Gebied	Omschrijving
OW1 - West-Friesche Wad	In dit gebied komt keileem voor beneden -10 m NAP. Waar geen keileem aanwezig is bestaan de bovenste Pleistocene afzettingen voornamelijk uit zand. De Holocene afzettingen zijn tot 10 m dik en lijken uit onregelmatige voorkomens van klei en zand te bestaan. In het oostelijke deel komt onder de keileem potklei voor.
OW2 - Piet Scheveplaat en Kikkertplaat	In dit deelgebied bestaat de top van het Pleistoceen (tussen -12 en -16 m NAP) regelmatig uit potklei, maar soms ook uit keileem of zand. Aan de basis van de Holocene afzettingen komen klei- en veenlagen voor.
OW3 - Borndiep	De diepste delen van deze geul reiken tussen -15 en -30 m NAP, waardoor regelmatig contact is met de potklei die tussen -19 en -25 m NAP begint (Van der Spek, 1994; Vermaas, 2018; Vermaas et al., 2018). Soms is de potklei bedekt door zandige en kleiige afzettingen van de Eem Formatie.
OW4 - Molengat en Dantziggat	Deze geulsystemen zijn kleiner en ondieper dan het Borndiep: de diepste delen reiken maar net beneden de -15 m NAP. Verwacht wordt dat potklei regelmatig aan de geulbodembodem ligt. De oostelijke delen van deze geulen liggen in een gebied waar het Pleistoceen rond -10/-15 m NAP begint en bestaat uit een complexe mix van de Formatie van Peelo (potklei), Boxtel (voornamelijk zand), Drente (zand, keileem) en Eem (zand, klei). De basis van het Holoceen bestaat regelmatig uit klei-op-basisveen.
OW5 - Borndiep oostrand	Aan de oostrand van het Borndiep ligt rond -13 m NAP een gebied waar aan de basis van het Holoceen basisveen en klei voorkomt. Dichter bij Ameland komen ook ondieper nog kleilagen voor.
OW6 - Amelander Wad	De geologie onder het Amelander Wad is complex met een grote verscheidenheid aan Pleistocene afzettingen. De bovenste afzettingen hiervan bestaan meestal uit zandige afzettingen van de Formatie van Boxtel, die lokaal ook kleilagen omvat. Deze formatie begint meestal tussen -6 en -12 m NAP. De onderliggende Eem Formatie bestaat aan de top, rond -14/-16 m NAP, regelmatig uit

	<p>metersdikke kleilagen. Ook in het Holocene pakket komen kleilagen voor, soms is ook het basisveen aanwezig.</p>
<p>OW7 - Wierumerwad</p>	<p>Onder het Wierumerwad stijgt de top van de potklei van west naar oost van -20 m naar -12 m NAP. Lokaal is de potklei bedekt door keileem of meer zandige afzettingen uit de laatste ijstijd. In het Holocene pakket komen uitgestrekte kleilagen voor.</p>
<p>OW8 - Zoutkamperlaag</p>	<p>De aanwezigheid van erosie-resistente lagen wordt vermoed door de aanwezigheid van een breed plateau op -15 m NAP. Er zijn geen boringen beschikbaar om dit te staven. Indien ze inderdaad aanwezig zijn gaat het waarschijnlijk om keileem. Er is een kleinere kans dat het om potklei gaat.</p>
<p>OW9 - Brakzand</p>	<p>De opbouw van de ondergrond is vergelijkbaar met OW7, al zijn de Holocene afzettingen minder kleiig. Lokaal zal de potklei bedekt zijn door zandige afzettingen van de Formatie van Urk.</p>
<p>OW10 - Groningerwad</p>	<p>Er is zeer weinig informatie beschikbaar voor dit gebied. Boringen direct op het land laten keileem en potklei zien boven -15 m NAP. Ook de opbouw van de Holocene afzettingen is feitelijk onbekend, maar de aanwezigheid van dikke kleilagen is niet uit te sluiten.</p>
<p>OW11 - Rottumerplaat</p>	<p>Er is weinig informatie bekend over de diepere ondergrond van dit eiland. In 2016 is bij een handboring op 11 m diepte keileem aangetroffen.</p>
<p>OW12 - Uithuizerwad</p>	<p>Tussen -12/-13 m en -15/-20 m NAP komen dikke Holocene klei- en veenlagen voor.</p>

1.5 Eems-Dollard

Gebied	Omschrijving
<p>ED1 - Oude Westereems</p>	<p>Er is niet veel informatie over dit gebied, maar verwacht wordt dat potklei soms aan de bodem van de geul voorkomt, zeker in de diepste delen.</p>
<p>ED2 - Westereems</p>	<p>Er zijn weinig boringen beschikbaar, maar wel seismische lijnen (Medusa, 2010). In deze delen van de Westereems ligt regelmatig potklei aan de basis.</p>
<p>ED3 - Westereems</p>	<p>Er zijn weinig boringen beschikbaar, maar wel seismische lijnen (Medusa, 2010). In deze delen van de Westereems ligt regelmatig keileem op potklei aan de basis.</p>

ED4
- Eemshaven

Tussen -1 en -15 m NAP kunnen dikke Holocene klei- en veenlagen voorkomen. Waarschijnlijk is er ook keileem aanwezig (Pierik et al., 2019).

ED5
- Eemshaven,
Hond- en
Paapzand

Tussen -1 en -15 m NAP kunnen dikke Holocene klei- en veenlagen voorkomen, met name ten zuiden van de Eemshaven.

ED6
- Doekegat

Aan de basis van dit deel van het Doekegat lijkt potklei voor te komen.

ED7
- Delfzijl

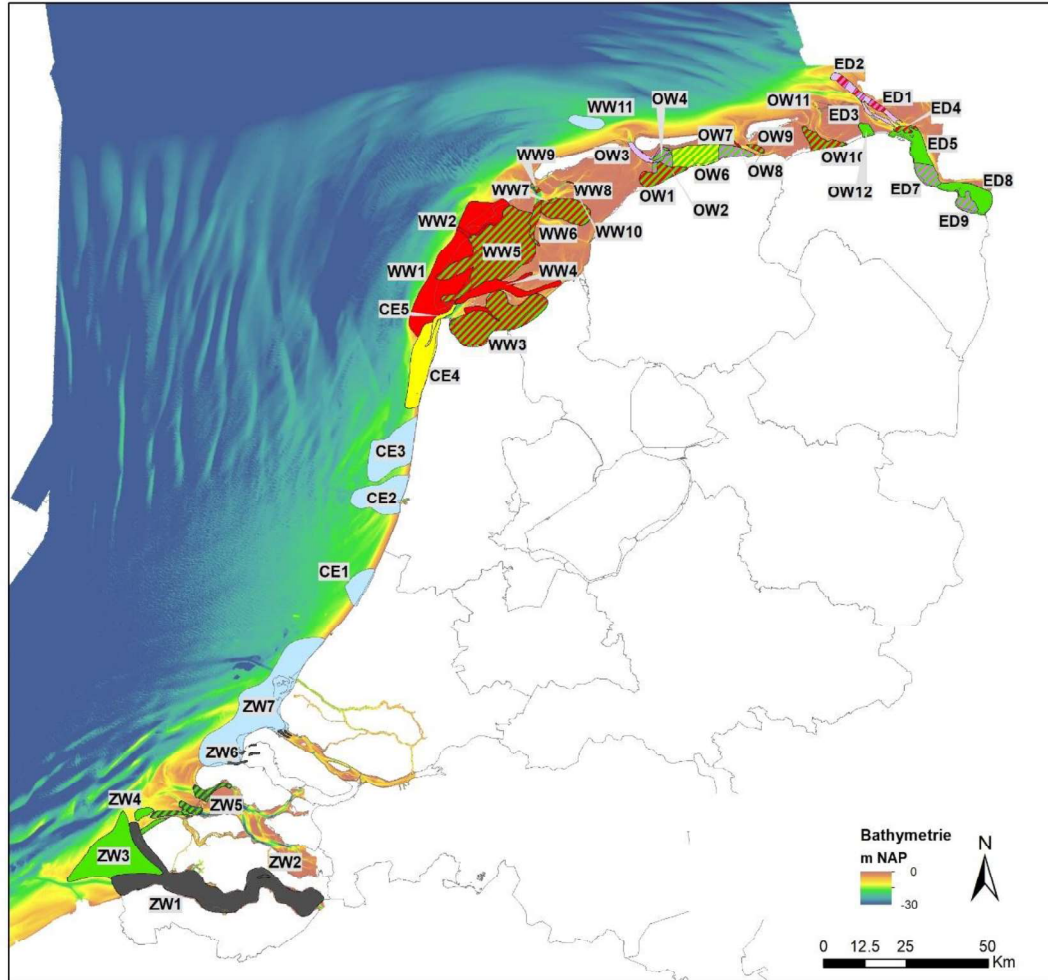
In dit deelgebied komt zeer ondiep potklei voor, lokaal boven de -10 m NAP. Regelmatig wordt de potklei bedekt door dekzand. De Holocene afzettingen omvatten dikke veen- en kleilagen.

ED8
- Termunten

De potklei in dit gebied ligt weer wat dieper, meestal beneden de -15 m NAP en is bedekt door zand uit de laatste ijstijd. Dit zand begint tussen -7 en -11 m NAP. De Holocene afzettingen bestaat vrijwel volledig uit klei met meerdere veenlagen.

ED9
- Dollard

In het Dollardgebied ligt de potklei weer hoger, meestal beginnend tussen -9/-12 m NAP. Ook hier wordt de potklei naar verwachting bedekt door Pleistoceen zand. Net als in grote delen van het Eems-Dollard gebied komen er veel en dikke klei- en veenlagen voor binnen de Holocene afzettingen.



Type erosie-resistente lagen

Holocene klei/veen	Pleistocene keileem
Holocene en Eemien/Weichselien klei	Pleistocene potklei
Holocene klei/veen en Pleistocene keileem	Pleistocene keileem en potklei
Holocene klei/veen en Pleistocene potklei	Tertiaire en Vroeg-Pleistocene afzettingen
Holocene klei en Tertiaire/Vroeg-Pleistocene afzettingen	Holocene klei/veen veelal <-15 m NAP
Eemien/Weichselien klei	

Figuur 1.1 Kaart met de verbreiding van erosie-resistente lagen langs de Nederlandse Kust