



NAM

De ondergrond van Groningen: een geologische geschiedenis

Erik Meijles
Rijksuniversiteit Groningen

Datum Juni 2015

Editors Jan van Elk & Dirk Doornhof

Algemene Inleiding

De door een geïnduceerde aardbeving veroorzaakte grondversnelling is sterk afhankelijk van de lokale ondiepe bodemsamenstelling. NAM heeft daarom Deltares gevraagd een gedetailleerde beschrijving te maken van de ondiepe ondergrond boven het Groningen gasveld. Dit onderzoek richt zich op de kwartaire geologie waarbij de nadruk op de bovenste 50 meter ligt.

Als achtergrond bij het uitgebreide Deltares rapport, dat een gedetailleerd model van de ondiepe ondergrond van Groningen beschrijft, geeft dit rapport een introductie in de kwartaire geologie van Groningen. Het is geschreven door Dr. Ir. Erik Meijles, die als Universitair docent geografie van de natuurlijke omgeving werkzaam is bij de Rijksuniversiteit Groningen.

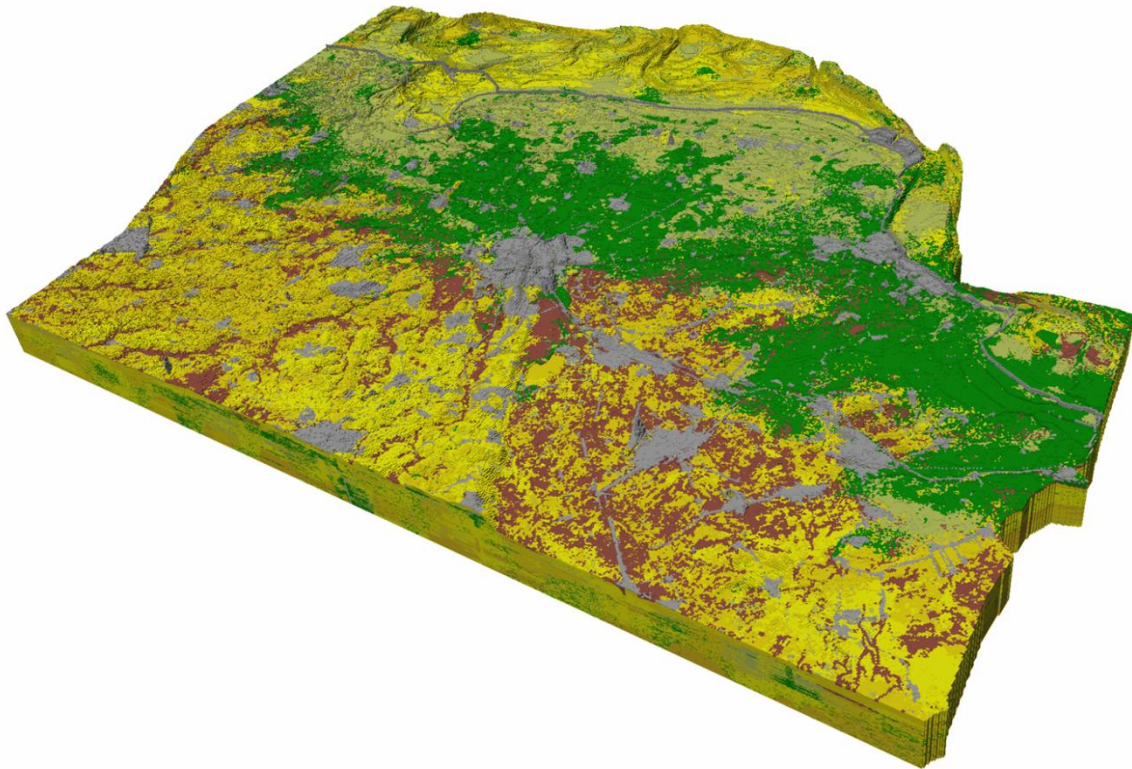
Verder is aan dit rapport medewerking verleend door Drs. Wim Dubelaar, Dr. Jan Stafleu en Dr. Wim Westerhoff van TNO Geologische Dienst Nederland (TNO-NITG) in Utrecht. Naast redactie van de tekst hebben zij enkele belangrijke figuren aangeleverd.



NAM

Titel	De ondergrond van Groningen: een geologische geschiedenis		Datum	June 2015
			Opdrachtgever	NAM
Auteur(s)	Erik Meijles, universitair document geografie van de natuurlijke omgeving	Bewerkt door	Jan van Elk Dirk Doornhof	
Organisatie	Rijksuniversiteit Groningen	Organisatie	NAM	
Plek in het aardbevings- onderzoek	<u>Onderzoeksthema:</u> Voorspelling van grondversnelling <u>Toelichting:</u> De door een geïnduceerde aardbeving veroorzaakte grondversnelling is sterk afhankelijk van de lokale ondiepe bodemsamenstelling. NAM heeft daarom Deltares gevraagd een gedetailleerde beschrijving te maken van de ondiepe ondergrond boven het Groningen gasveld. Dit onderzoek richt zich op de kwartaire geologie van Groningen waarbij de nadruk op de bovenste 50 meter ligt.			
Direct verbonden onderzoek	Dit onderzoek dient als achtergrond bij het rapport "Geological schematisation of the shallow subsurface of Groningen" geschreven door staff van Deltares.			
Gebruikte data	GEOTOP Beta-versie			
Betrokken organisaties	Afdeling geografie van de natuurlijke omgeving van de Rijksuniversiteit Groningen TNO Geologische Dienst Nederland (TNO-NITG)			
Borging	Het rapport is becommentarieerd door Drs. Wim Dubelaar, Dr. Jan Stafleu en Dr. Wim Westerhoff van TNO Geologische Dienst Nederland (TNO-NITG) gevestigd in Utrecht.			

De ondergrond van Groningen: een geologische geschiedenis



Beeld: Geotop, Betaversie, TNO Geologische Dienst Nederland

Erik Meijles
Rijksuniversiteit Groningen

In samenwerking met
Wim Dubelaar, Wim Westerhof en Jan Stafleu
TNO Geologische Dienst Nederland

In opdracht van
Jan van Elk en Dirk Doornhof
NAM



TNO innovation
for life



NAM

Contents

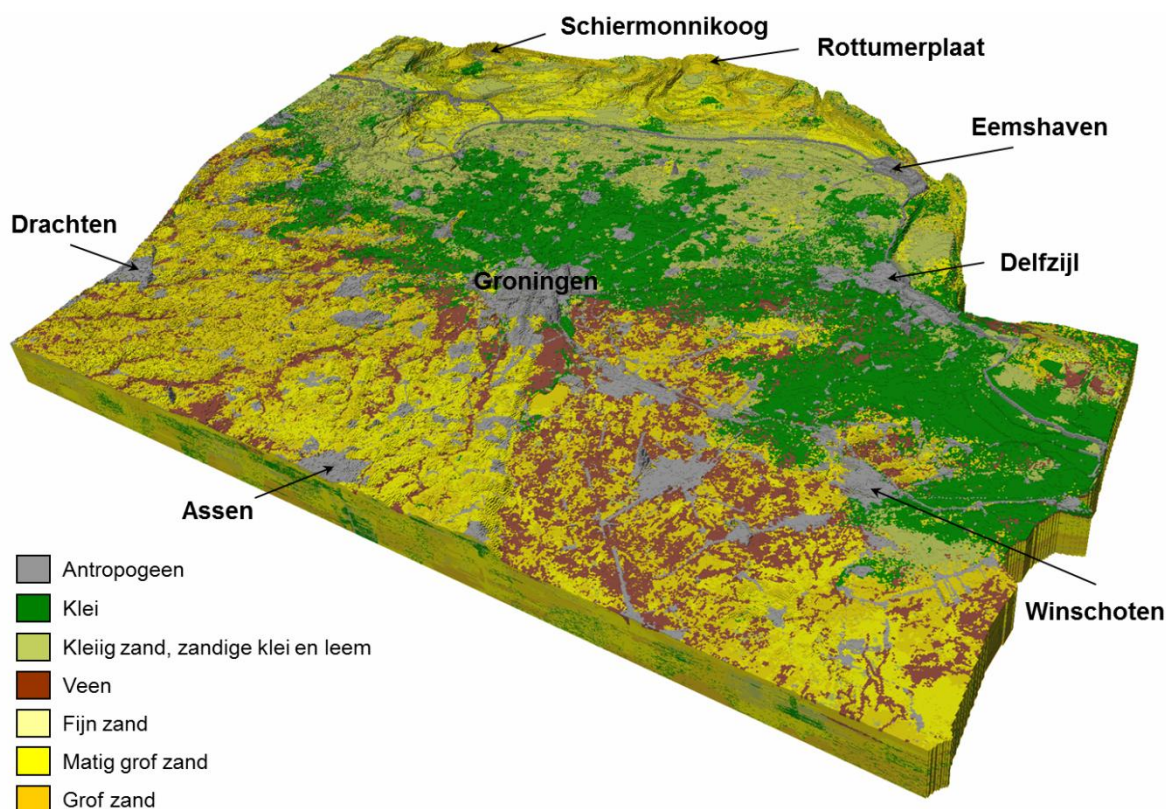
De ondergrond van Groningen: een geologische geschiedenis	1
Inleiding	3
Klimaatverandering in het Kwartair.....	4
Elsterien	6
Holsteinien.....	8
Saalien	8
Eemien	12
Weichselien	12
Holoceen.....	15
Conclusie.....	19
Meer lezen?	21
Literatuur	21
Bijlagen	22
Bijlage 1: Geologische dwarsdoorsnede Groningen	22
Bijlage 2: Overzicht van formatienamen en afzettingmilieus	23
Bijlage 3: Glossary.....	24

Inleiding

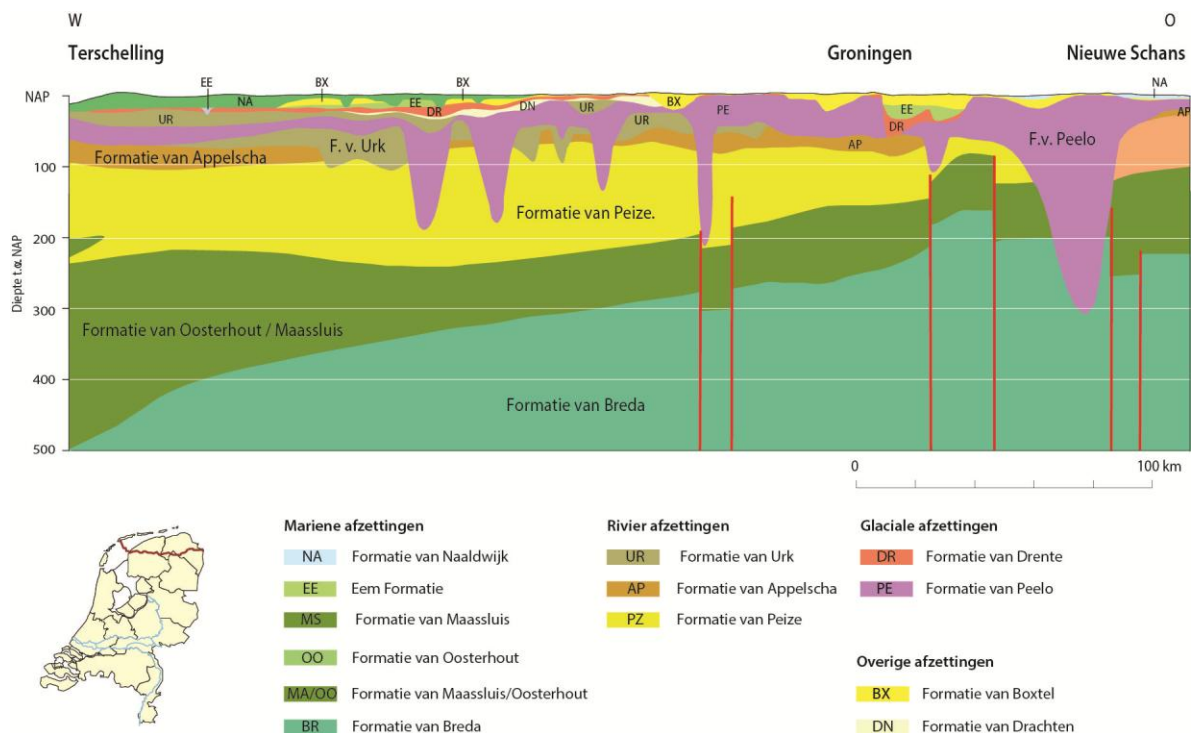
Als je aan mensen vraagt waaruit de bodem van Groningen bestaat, dan is de kans erg groot dat men 'klei' zegt. De Groninger klei is een begrip in Nederland. Landbouwkundig is dat terecht, want de Groninger akkergronden behoren tot de beste gronden van Nederland. Maar 'klei' doet geen recht aan de enorme variatie aan grondsoorten aan en onder het oppervlak van de provincie. De ondergrond van Groningen is zeer variabel (Afbeelding 1). Gedurende honderdduizenden jaren is het landschap gevormd door ijskappen, poolwoestijnen, smeltwaterstromen, moerassen, zeeën en rivieren. Dit heeft zijn weerslag gehad op de samenstelling van de ondergrond.

In deze beknopte toelichting op de geologische geschiedenis van Groningen proberen we dat aanschouwelijk te maken. We beperken ons daarbij tot de laatste 450.000 jaar en volgen de geschiedenis vanaf de eerste keer dat het noorden van Nederland door landijs bedekt is geweest. In deze perioden hebben we in Nederland drie ijstijden ("glacialen") gekend, afgewisseld door een aantal warmere periode ("interglacialen"). We maken daarbij gebruik van de geologische modellen die door de Geologische Dienst Nederland – TNO worden vervaardigd. Het Digitaal Geologische Model (DGM) is een tweedimensionaal lagenmodel dat de opbouw van de ondergrond tot ca. 500 m diepte beschrijft (afbeelding 2). Daarnaast maken we gebruik van informatie uit een voorpublicatie van het GeoTOP model, dat recentelijk voor Noord-Nederland is samengesteld en dat een driedimensionale weergave geeft van de ondergrond tot een diepte van ca. 50 m. De modellen zijn beschikbaar op www.dinoloket.nl

De tekst is te gebruiken als inleiding voor een algemeen publiek om het rapport van Deltares "Geological schematisation of the shallow subsurface of Groningen. For site response to earth quakes" goed te kunnen begrijpen. We leggen uit hoe de verschillende lagen in de bodem van Groningen zijn gevormd. Omdat in het rapport veelvuldig gebruik wordt gemaakt van geologische laagbenamingen (lithostratigrafie), combineren we deze toelichting met de door geologen gebruikte 'formaties' en 'laagpakketten', die als basis dienden voor het ondergrondmodel zoals dat in het rapport wordt getoond.



Afbeelding 1: Er is meer dan klei: de aan maaiveld voorkomende grondsoorten in de provincie Groningen. NB antropogeen zijn dicht bebouwde gebieden of door de mens sterk aangepaste gebieden¹



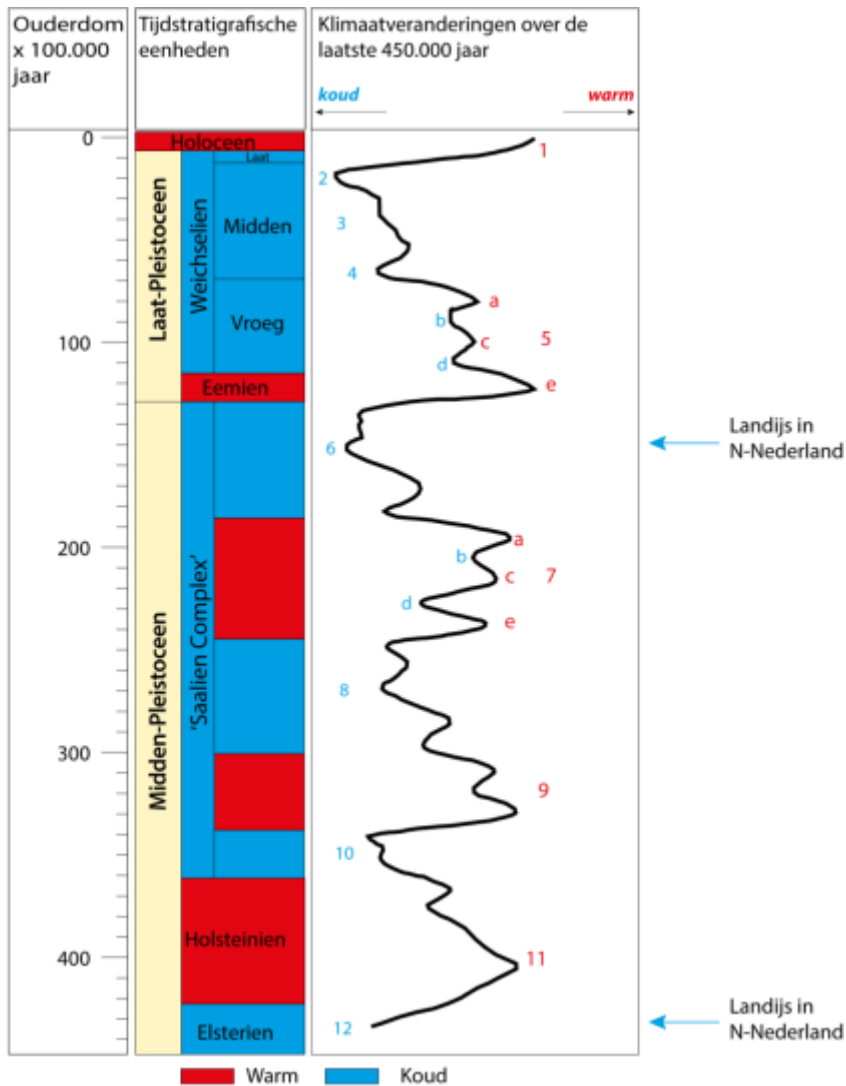
Afbeelding 2: Geologisch profiel door Noord-Nederland. Het toont de geologische opbouw tot een diepte van 500 m. Opvallend zijn de diep in de ondergrond ingesneden geulen van de Formatie van Peelo die gevormd zijn tijdens de bedekking met landijs in het Elsterien. De afzettingen van de Formatie van Drente bestaan voornamelijk uit keileem en zijn ontstaan tijdens de tweede keer dat Noord-Nederland door landijs bedekt was.

Klimaatverandering in het Kwartair

Het Kwartair is de geologische periode die 2,6 miljoen jaar geleden begon en doorloopt tot vandaag de dag. Het Kwartair wordt onderverdeeld in het Pleistoceen (het ijstijdvak) en het Holoceen. Het Holoceen is het tegenwoordige tijdvak dat na afloop van de laatste ijstijd 11.700 jaar geleden begon.

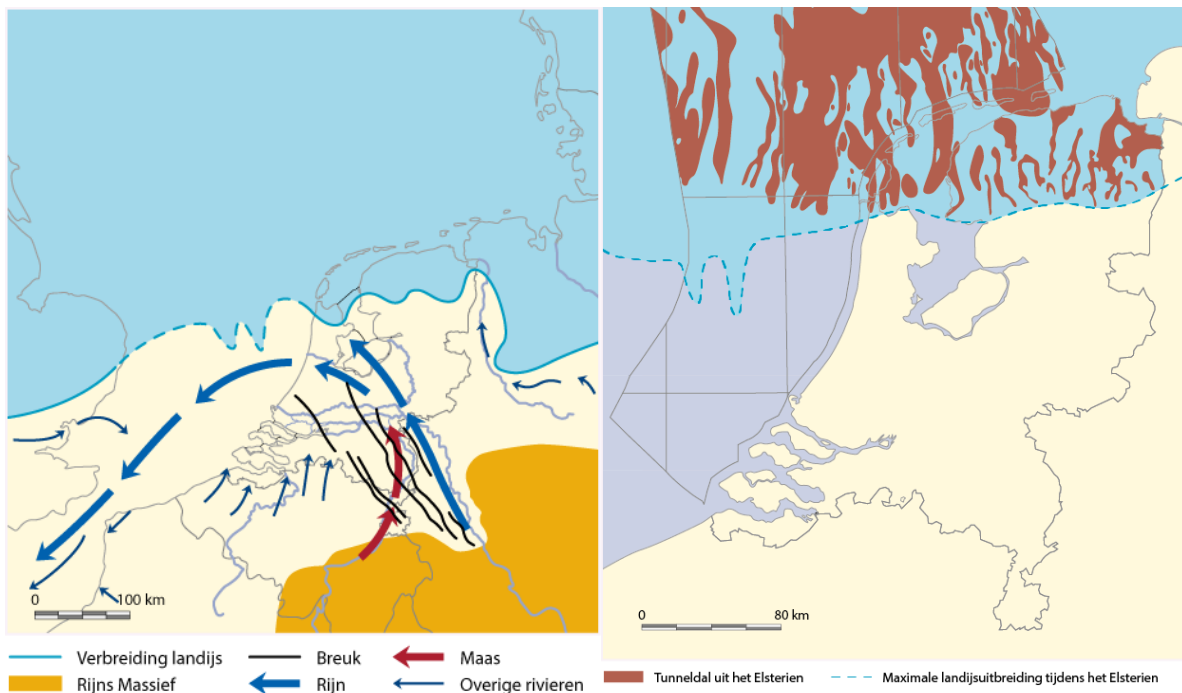
Geologen onderscheiden het Kwartair van eerdere geologische perioden vanwege de opgetreden grote klimaatveranderingen. Dan hebben we het niet over de klimaatverandering die tegenwoordig een rol speelt, maar over de grote schommelingen in temperatuur tijdens veel langere perioden. Gedurende het Kwartair heersten bij herhaling langdurige koude perioden (glacialen of ijstijden) waarbij een aantal keren grote landijskappen op het noordelijk deel van Noord-Amerika en in Noordwest-Europa (met name Scandinavië) werden gevormd. Tijdens de koude perioden werd veel water opgeslagen in de ijskappen en gletsjers, waardoor de zeespiegel sterk daalde. In de koude perioden kon de zeespiegel tot wel 120 m beneden het huidige niveau staan. De warmere perioden tussen de ijstijden, waarin de gletsjers smolten en de zeespiegel weer steeg, worden interglacialen genoemd.

Het ontstaan van de ijstijden hangt samen met de verandering van de baan van de aarde om de zon (van cirkelvormig naar meer elliptisch en weer terug) alsmede van de 'scheefstand' en schommelingen van de as van de aarde. Door die veranderingen in de omloop van de Aarde om de zon varieert de hoeveelheid binnenkomende zonnewarmte en wordt het klimaat wereldwijd beïnvloed. Daarbij worden verschillende cycli onderscheiden die bepalen hoeveel energie, in de vorm van zonnewarmte, de aarde bereikt. Deze cycli staan bekend als de Milankovitch cycli. Sinds het begin van het Kwartair kennen we 104 klimaat cycli. Op grond van onderzoek in de diepzee worden die klimaatcycli van jong naar oud opeenvolgend genummerd. Men noemt dat Mariene Isotopen Stadia (afgekort als MIS). Zo worden oneven getallen gebruikt voor de relatief warme perioden en even getallen om de glacialen aan te duiden. Gedurende de eerste helft van het Kwartair is de duur van de cycli ongeveer 40.000 jaar, maar vanaf ongeveer 1 miljoen jaar geleden zijn de glaciële fasen met een duur van 100.000 dominant. Daarbij zijn de perioden van de glacialen langer dan die van de interglacialen. De ijstijden duren dan ongeveer 100.000 jaar terwijl de relatief warme perioden zo'n 15 tot 30.000 jaar duren.



Afbeelding 3: Tijdsindeling en globale klimaatcurve voor de laatste 450.000 jaar. De cijfers naast de curve verwijzen naar de wereldwijd toegepast aanduiding voor afwisselend koude en warme fasen, de zogenaamde 'Mariene Isotopen Stadia'.²

Voor Groningen en omgeving zijn vooral de laatste drie ijstijden van groot belang (**Error! Reference source not found.**). Elk van deze glacialen en de tussenliggende interglacialen brachten zeer verschillende geologische omstandigheden met zich mee. We beschrijven in dit hoofdstuk de hoofdlijnen van de geologische geschiedenis, kijken in de bodem van Groningen tot enkele honderden meters diepte en geven aan hoe en welke sedimenten werden afgezet. Zo wordt een beeld geschetst van de grote variatie aan grondsoorten en sedimentaire structuren in de ondiepe ondergrond van Groningen. Waar mogelijk geven we aan, waar sedimenten en gelaagdheid uit de verschillende geologische perioden nu nog steeds zichtbaar zijn in de provincie.



Afbeelding 4: Paleogeografie van Nederland in het Elsterien glaciaal (links) en de ligging van de tunneldalen in Noord-Nederland (rechts)³. Merk op dat de noordelijke afvoer van de rivieren door in de Noordzee liggend landijs geblokkeerd is.

Elsterien

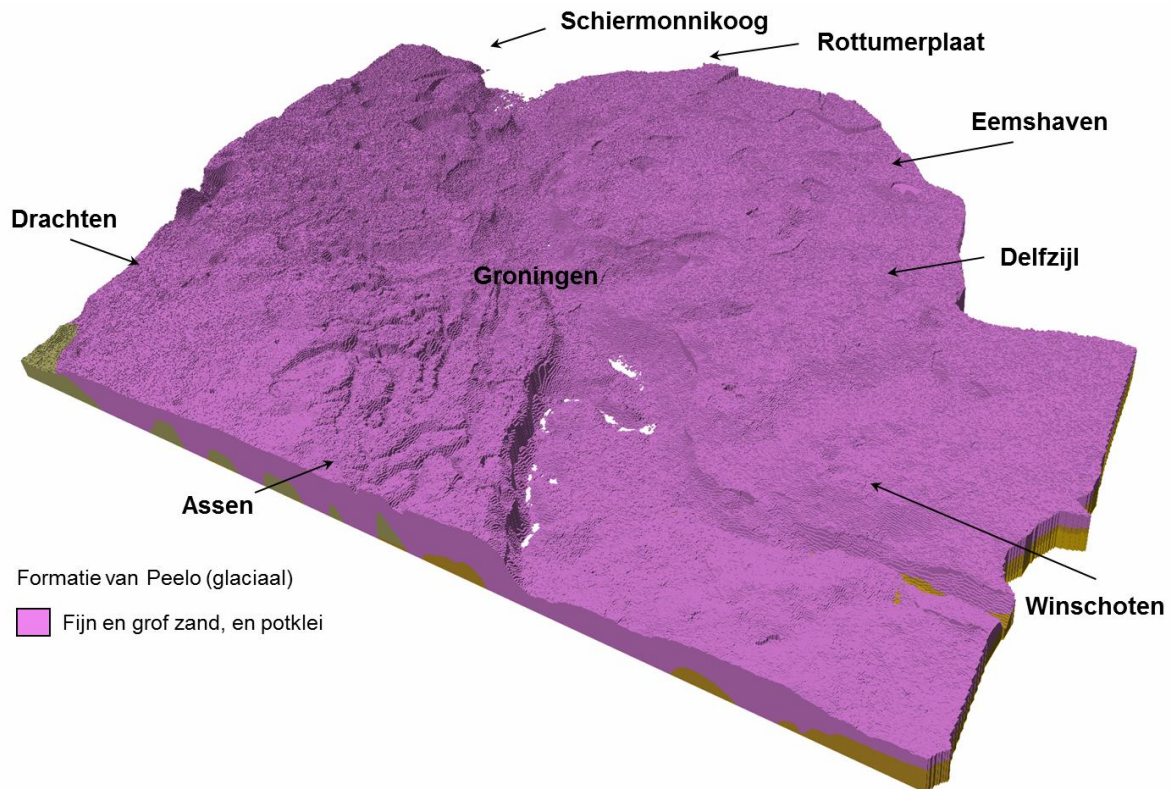
Het Elsterien was de glaciële periode tussen 475.000 tot 410.000 jaar geleden (ook wel aangeduid als MIS 12). Dat was de eerste keer dat Noord-Nederland bedekt werd met landijs⁴. Het ijs bereikte een maximale uitbreiding tot ongeveer de lijn Den Helder – Lemmer – Stadskanaal (Afbeelding 4). Er werd bij deze landijsbedekking vrijwel geen keileem afgezet en er werden, met uitzondering van enkele plaatsen in de huidige Noordzee, ook geen stuwwallen gevormd. Daarmee verschillen de geologische processen in deze ijstijd duidelijk van die van de voorlaatste ijstijd, het Saalien.

Kenmerkend voor de ijsbedekking in het Elsterien is de vorming van noord-zuid gerichte diepe geulsystemen, zogenoemde tunneldalen, in de ondergrond van de Noordzee, Noord-Nederland en Noord-Duitsland. In Noord-Nederland varieert de lengte van deze geulen van twintig tot honderd kilometer bij een breedte van drie tot vijf kilometer. De diepte van de geulen ligt meestal tussen honderd en driehonderd meter. Nog diepere geulen, tot bijna vijfhonderd meter, zijn bekend van de Noordzee en in Noord-Duitsland⁵.

Er zijn verschillende verklaringen bedacht over het ontstaan van de tunneldalen. De meest gangbare gaat uit van het ontstaan van tunnels door de afvoer van smeltwater aan de basis van de ijskap.

Het onder de ijskap vrijkomende smeltwater staat onder hoge druk en kan daarom tot diep in de ondergrond eroderen waarbij geulvormige insnijdingen ontstaan. Smeltwater en het vrijkomende sediment wordt met veel kracht onder het ijs vandaan geperst. Zo ontstaan er langs de ijsrand diepe evenwijdig naast elkaar liggende tunneldalen⁶. In de diepe tunneldalen blijft een deel van het geërodeerde sediment achter en vormt daar een relatief grofkorrelig, chaotisch samengesteld sedimentpakket. Wanneer de af te voeren hoeveelheid smeltwater afneemt worden de sedimentatie omstandigheden rustiger en kan er fijnkorrelig sediment bezinken. Zodra het landijs afsmelt blijven er langgerekte meren over die in de winter dichtvriezen en waarin het water geheel tot stilstand komt. Ook de fijnste kleideeltjes bezinken dan en zo zijn de tunneldalen in Noord-Nederland voor een belangrijk deel met tientallen meters dikke kleilagen opgevuld⁷.

Alle glaciale afzettingen uit het Elsterien, variërend van grof zand met fijn grind, silt en klei, worden tot de geologische eenheid 'Formatie van Peelo' gerekend (zie bijlage 2 en Afbeelding 5). Deze eenheid is een sterk in dikte variërend pakket, van circa driehonderd meter in de diepste geulen tot een meter of 20 daarbuiten⁸. De klei staat bekend als 'potklei', vanwege de geschiktheid van deze grondstof voor het maken van aardewerk. De potklei is een karakteristieke en goed te karteren eenheid binnen deze formatie en wordt het Laagpakket van Niewolda genoemd⁹ (zie bijlage 2). Ook de potklei varieert aanzienlijk in dikte, van een paar meter tot enkele tientallen meters.

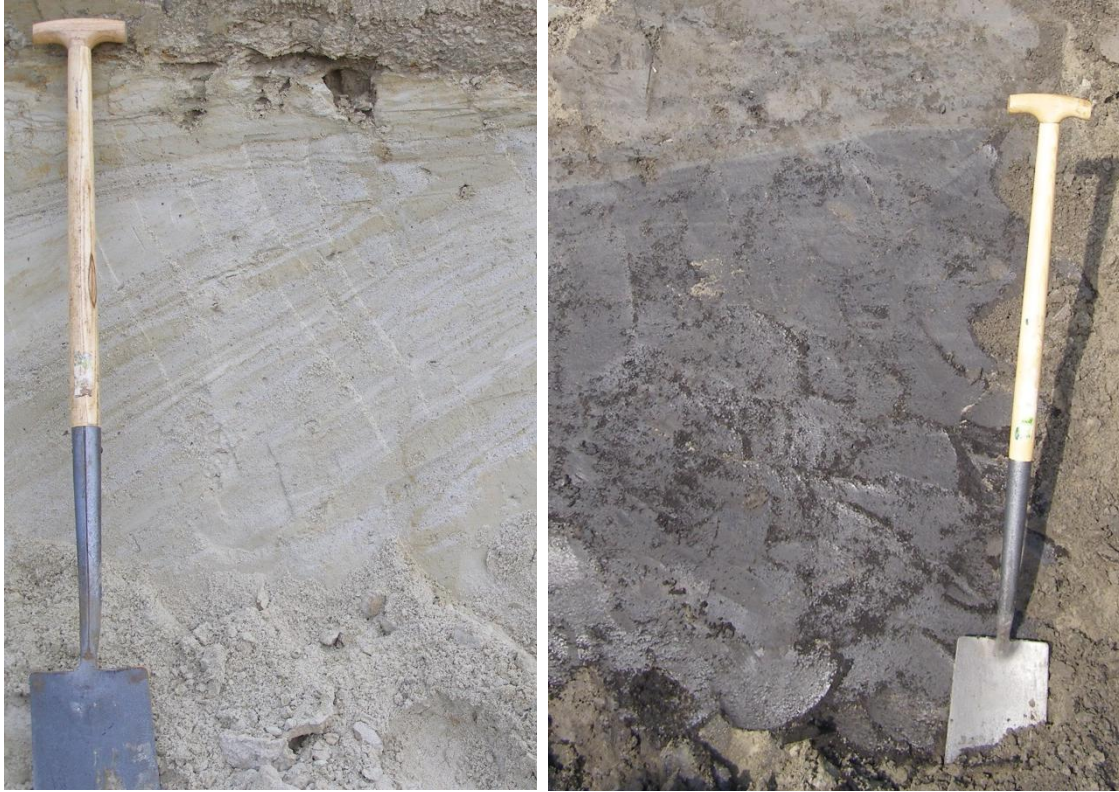


Afbeelding 5: Ligging van de Formatie van Peelo in Groningen (paars). De ligging van de geulen is te zien op de overgang van oudere, dieper liggende lagen (groen & bruin)¹.

De potklei is goed herkenbaar aan het massieve, compacte karakter en aan de donkergrijze kleur. Daarmee onderscheidt de potklei zich van de grijsblauwe, slappe zeeklei uit het Holocene die zo typerend is voor het Groninger landschap. De potklei is zo compact vanwege de belasting van het sediment als gevolg van de bedekking door de dikke landijskap in de voorlaatste ijstijd, het Saalien¹⁰. De dichte potklei vormt op veel plekken in de Groningse ondergrond een voor grondwater zeer slecht doorlatende laag.

De potklei komt tegenwoordig op een aantal plekken dicht aan de oppervlakte voor, zoals bij Hooge Traan ten noorden van Leek, waar ze vroeger werd gedolven. Ook is het bij de Tichelberg bij Onstwedde aanwezig¹¹. Het woord 'tichel' verwijst hier naar het gebruik van de klei voor het bakken van stenen. In de rug Noordhorn/Zuidhorn¹² is de potklei recentelijk aangesneden tijdens de aanleg van een tunnel (Afbeelding 6). Hier ligt de klei op ongeveer 8 meter onder maaiveld. Als de klei aan of nabij de oppervlakte ligt is deze door oxidatie van de ijzerhoudende mineralen vaak wat rood gekleurd.

Zanden van de Formatie van Peelo komen eveneens op een aantal plaatsen in Noord-Nederland dicht aan het oppervlak voor. Het betreft vaak matig fijn lichtgekleurd zand. Omdat er mica's (een glimmende mineraal) in voorkomen, herkennen we het materiaal vaak aan de vele glimmertjes die er in zitten. Bij de recente aanleg van het verdiepte tracé van de N33 bij Gieten werden de glimmerhoudende zanden blootgelegd. Fraai was hierbij de scheve gelaagdheid van deze zanden te zien (Afbeelding 6).



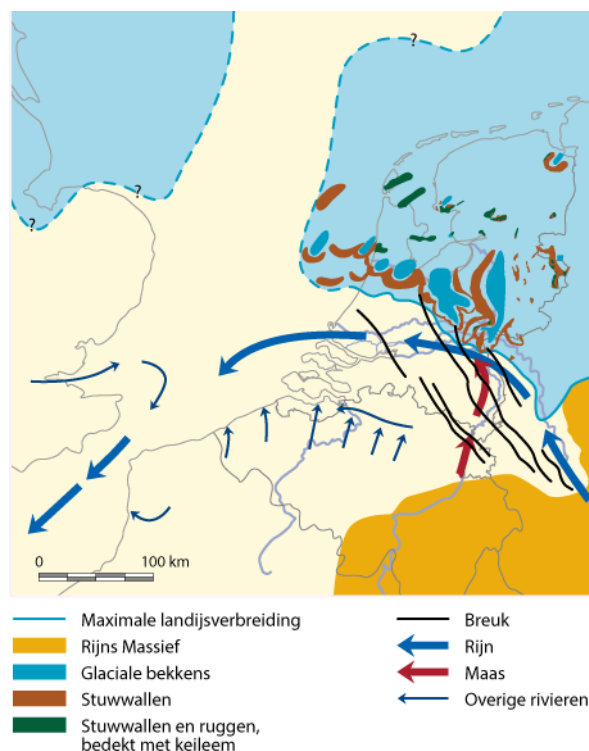
Afbeelding 6: Scheve gelaagdheid bij Gieten, in afzettingen van de Formatie van Peelo (links) en donkergrijze potklei uit diezelfde formatie die zichtbaar werd bij de aanleg van een tunnel bij Noordhorn (rechts). Beide type sedimenten werden afgezet in de tunneldalen tijdens het Elsterien.

Holsteinien

Het Holsteinien, het interglaciaal dat volgt op het Elsterien, duurde van ongeveer 410.000 tot 370.000 jaar geleden. Deze periode is het warmste interglaciaal van de afgelopen 400.000 jaar¹³ en wordt wel als model gezien voor de huidige warme tijd: het Holoceen.¹⁴ De ijskappen verdwenen en de zeespiegel steeg zodat de laaggelegen delen van Noord-Nederland in de kustzone van de Noordzee kwamen te liggen. De kustlijn verliep min of meer west-oost, parallel aan de huidige kustlijn. Het stroomgebied en de delta van de rivier de Rijn lag ten westen van Groningen en afzettingen van dit riviersysteem komen dan ook niet in de ondergrond van Groningen voor. Onze kennis van de afzettingen uit deze periode is echter niet groot. In Groningen vinden we enkele voorkomens van zee- en wadafzettingen in de benedenstroomse delen van de geulen uit de voorgaande ijstijd. Deze marien afzettingen worden in de Egmond Gronden Formatie geplaatst¹⁵.

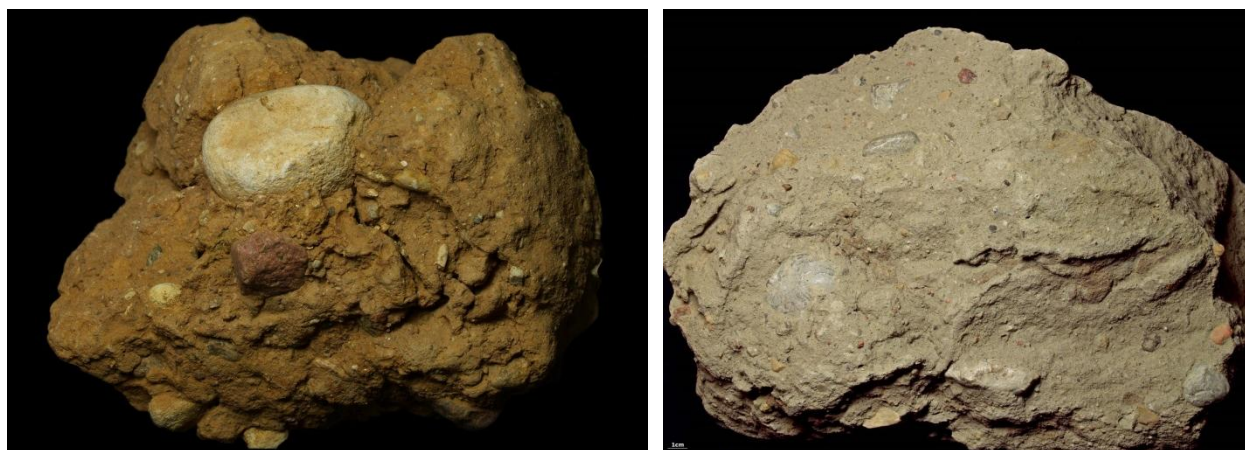
Saalien

Het Saalien beslaat een lange periode die duurde van ongeveer 370.000 tot 130.000 jaar geleden. Deze tijdseenheid wordt ook wel het 'Saalien complex' genoemd, vanwege de afwisseling van koude en warme perioden gedurende dit glaciaal (Afbeelding 3 & 7). Tijdens de laatste fase van het Saalien, van circa 200.000 tot 130.000 jaar geleden deed zich de koudste periode voor. Noord-Nederland werd in fasen onder een dikke laag ijs bedekt dat vanuit Scandinavië in zuidwestelijke richting stroomde. Het landijs bereikte eerst het noordoosten van Groningen¹⁶. De ijskap duwde het sediment dat aan het oppervlak lag voor zich uit, waardoor lage stuwwallen werden gevormd. Deze stuwwallen zijn nog steeds herkenbaar als ruggen in het landschap rond Schildwolde, Winschoten¹⁷, de Onstwedder Holte bij Onstwedde en de Hasseberg¹⁸. De ruggen bestaan uit lokaal opgestuwd materiaal dat vervolgens door de ijsstroom 'overreden' werd. Hierbij werd een laag keileem (grondmorene) afgezet. Keileem is een mengsel van keien, stenen, grind, zand, leem en klei dat is 'uitgesmolten' en achtergelaten aan de basis van het ijs (Afbeelding 8). De keileem is sterk samengedrukt door het gewicht van het landijs¹⁹.



Afbeelding 7: Paleogeografie van Nederland in het Saalien glaciaal. De (overreden) stuwwallen uit de verschillende uitbreidingsfasen zijn hier goed zichtbaar²⁰.

Door de aanwezigheid van het fijne zand en de potklei uit het Elsterien in de bevroren bodem, kon water uit het ijs maar moeizaam in de bodem dringen. Het stagnerende water onder het ijs fungeerde daarbij als smeermiddel, waardoor het ijs zich relatief snel in zuidwestelijke richting kon verplaatsen. Daarbij werd over een groot gebied in Noord-Nederland een tot enkele meters dikke laag keileem afgezet. Uit tellingen van stenen in de keileem is gebleken dat het materiaal te herleiden is naar een beperkt aantal herkenbare gebieden in Scandinavië²¹.



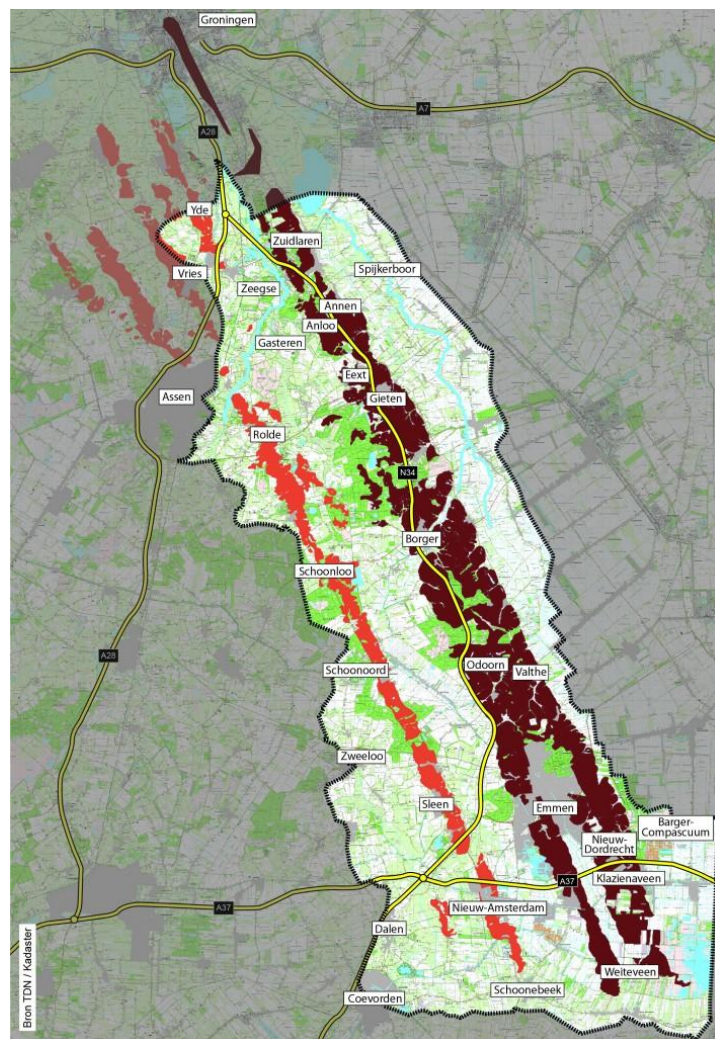
Afbeelding 8: Keileem van het zgn. “Nieuweschoottype” (links), aangetroffen onder de Kreupelstraat in Groningen. De keileem rechts is van het “Noordhorntype” en is gevonden in Haren. Deze keileem is niet afgezet door uitsmelting, maar door uitsmeren onder de ijskap (Foto’s: H. Huisman)

Het landijs stagneerde vervolgens op de lijn Texel - Gaasterland – Hoogeveen (herkenbaar aan de in groen weergegeven stuwwallen in Afbeelding 7), waarschijnlijk vanwege het voorkomen aan het oppervlak van grovere riviersedimenten (grindhoudend grof zand) van de Rijn (met de Maas als zijrivier). Het water kon hier wat gemakkelijker weglopen in de ondergrond onder het ijs en de waterspanning in de bodemlagen nam af. De bodem functioneerde daardoor als een soort van ‘schuurpapier’ en bood veel weerstand tegen het

schuivende ijs. Hierdoor nam de snelheid van de ijsmassa af. Zo werden de stuwheuvelds van Texel (Hoge Berg), Wieringen, Gaasterland, Steenwijk en Coevorden gevormd²². Maar ook deze stuwheuvelds werden nadien door de verder schuivende ijsmassa overreden (Afbeelding 7). In Midden- Nederland splitste het ijsfront zich uiteindelijk in een aantal ijstongen die zuidwaarts uitstroonden en het sediment in de ondergrond opduwden tot hoge stuwwallen, zoals die van de Utrechtse heuvelrug en de Veluwe. Daarbij werd de maximale ijsuitbreiding tot op de bekende HUN lijn (Haarlem – Utrecht - Nijmegen) bereikt²³.

Het ijsfront van West- en Midden-Nederland liep dus als het ware vast in de glaciële bekkens, maar in Noordoost- en Oost-Nederland kwam een ijstroom op gang in zuidzuidoostelijke richting²⁴. Vanwege de kleiige ondergrond in het oosten van Twente werd de snelheid van de ijsmassa daar niet geremd en kon het ijs doorstromen naar het Münsterland in Duitsland²⁵. De hoofdstroom in dit ijsveld had in Groningen en Drenthe een belangrijke invloed op de morfologie van het landschap: de bekende Hondsrug (Afbeelding 9) en de westelijk gelegen wat lagere ruggen parallel hieraan zijn te danken aan deze ijsbeweging. Omdat het om een aantal ruggen gaat, spreken geologen vaak over het Hondsrugcomplex.

De weerstand aan de kop van de Hondsrug zorgde er voor dat daar een relatief dikke laag keileem achterbleef; verder naar het zuiden neemt de keileem geleidelijk in dikte af²⁶. Door smeltwaterstromen aan de basis van de ijsbedekking werden dalen uitgeslepen, die na het afsmelten van het ijs nog wat verder werden uitgediept. Hierbij werd de keileem die onder de ijskap was afgezet voor een deel weer opgeruimd. De dalen herkennen we tegenwoordig nog steeds in het landschap als de stroomdalen van de Drentse Aa en het Peizerdiep. Verder naar het noorden zijn deze dalen ook in de ondergrond aanwezig, maar zijn ze bedekt met sedimenten uit latere geologische perioden.



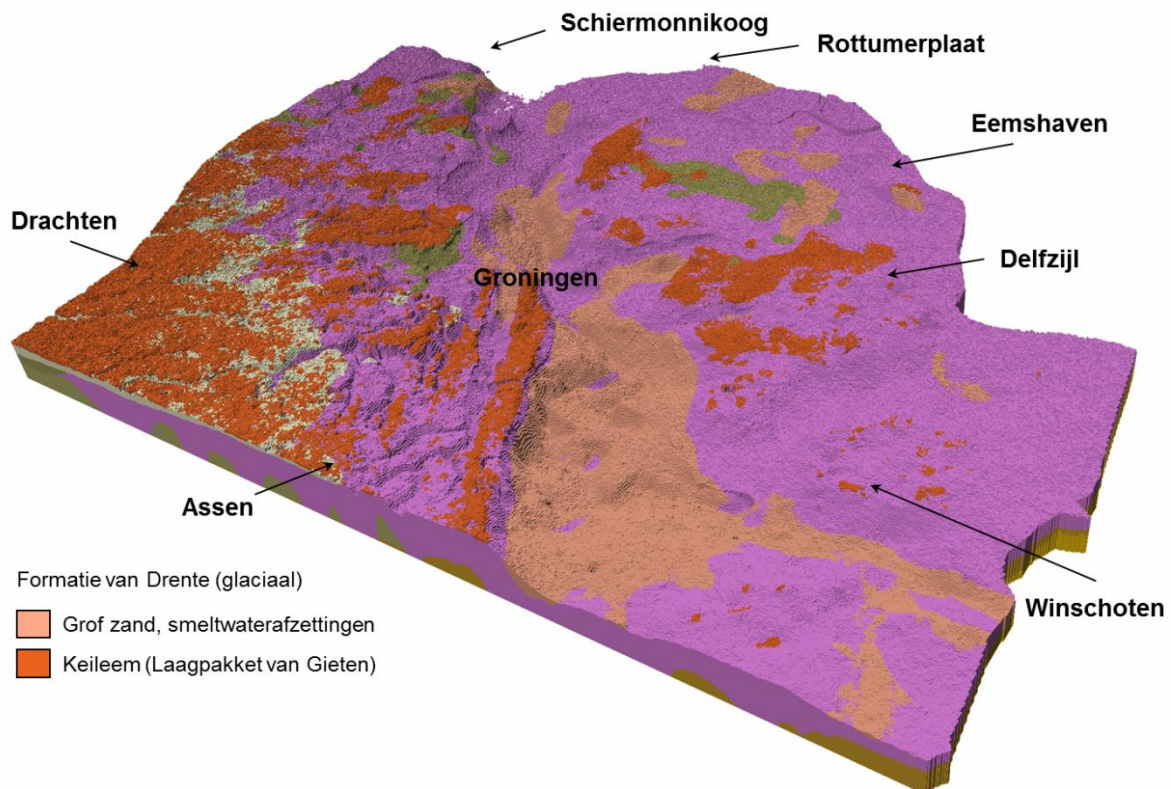
Afbeelding 9: Ligging van de Hondsrug in Drenthe en Groningen. Het gebied is recentelijk uitgeroepen tot geopark De Hondsrug, het eerste geopark van Nederland²⁷.

Na het afsmelten van het landijs bleef er een reliëfrijk landschap achter, waarbij op de hogere delen keileem aanwezig was. De keileem valt onder de Formatie van Drente, waarbij de intacte keileem wordt ingedeeld in het zogenaamde Laagpakket van Gieten (afbeelding 10 en bijlage 2). Meestal gaat het om een relatief dunne laag van één of enkele meters, maar de dikte loopt lokaal in Noord-Nederland op tot 5 à 10 meter. Het onderscheid in verschillende soorten keileem wordt hier verder niet beschreven. Voor meer informatie: zie de "meer weten" paragraaf.

De na afloop van het Saalien aan het oppervlak liggende keileem werd voor lange tijd blootgesteld aan verwerking en erosie. Op sommige plekken verdween de keileem geheel door erosie van afstromend water en, in drogere tijden, door uitwaaien. Op andere plekken ontstond een verweerde bovenlaag in de keileem. Fijne klei, leem, en zanddeeltjes verdwenen door wind en water, waardoor het grovere materiaal als residu van de grondmorene achterbleef. Dit materiaal, dat ook wel als "keizand" wordt aangeduid, is onderscheiden als de Laag van Gasselte²⁸ (zie bijlage 2).

We kennen de keileem vooral van het Drents-Fries plateau en associëren het wellicht vooral met de provincie Drenthe. In Groningen komt keileem echter ook voor, onder meer aan de noordelijke punt van de Hondsrug. Keileem komt aan het oppervlak in de ruggen van Noord- en Zuidhorn, in de Hasseberg, de heuvels van Winschoten en in de ruggen van Noord- en Zuidbroek, Slochteren en Wagenborgen²⁹. Wat dieper in de bodem van Groningen vinden we de keileem ook nog op enkele plaatsen terug, bijvoorbeeld onder Winsum op een diepte van een meter of vijf onder maaiveld.

Naast de grondmorene (keileem en keizand) zijn er grofzandige afzettingen gevormd door van het landijs afkomstige smeltwaterstromen. Een belangrijke afvoer van smeltwater concentreerde zich in de laagte aan de oostkant van de Hondsrug en schuurde daar een diep dal in de ondergrond uit; het Hunzedal.³⁰ In oudere literatuur wordt dit dal vaak "oerstroombdal" genoemd. Toentertijd moet het hoogteverschil tussen Hondsrug en Hunzedal aanzienlijk zijn geweest, wel een meter of vijftig. Tegenwoordig is dat verschil maximaal tien meter³¹. Keileem komt slechts sporadisch voor in het Hunzedal en ligt dan waarschijnlijk niet meer in situ. Ook in het gebied van de Dollard, het mondingsgebied van de Ems, treffen we geen keileem aan.³²

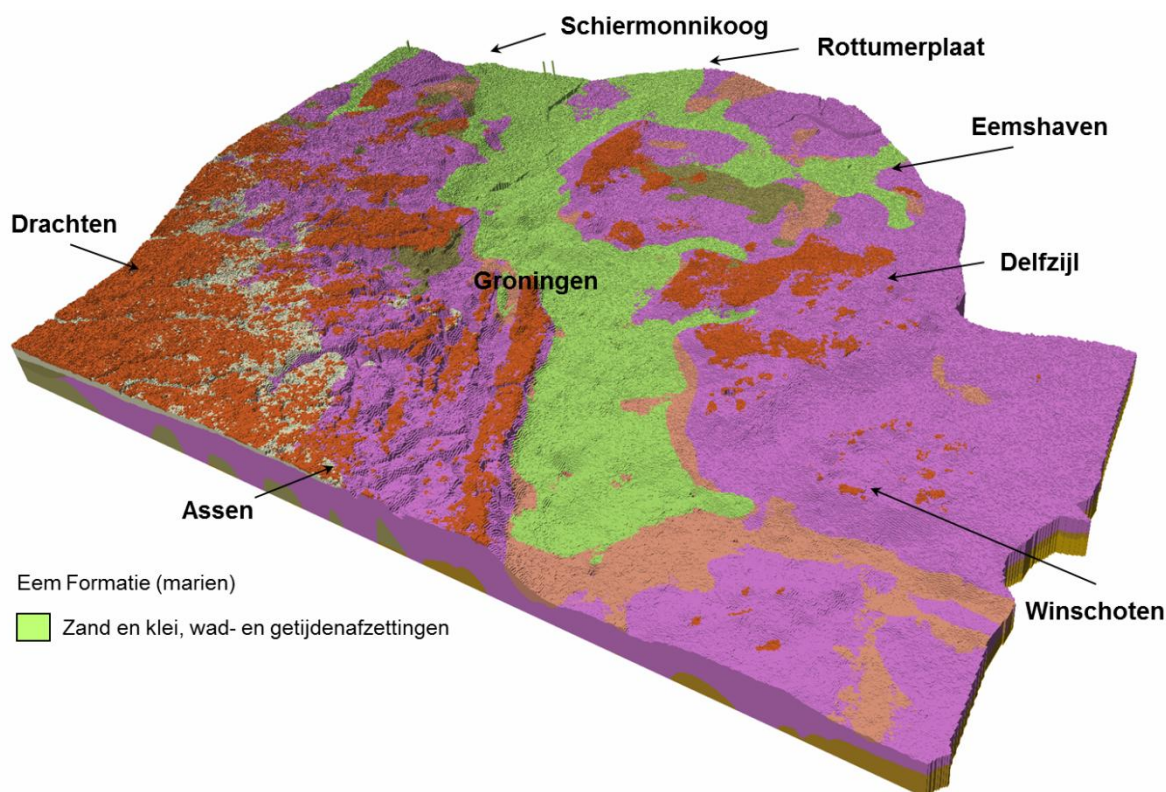


Afbeelding 10: Verbreiding van de Formatie van Drente (roze/rood). Het laagpakket van Gieten is keileem¹.

Eemien

Na het Saalien volgde de warme periode van het Eemien, een interglaciaal genoemd naar het riviertje de Eem in de provincie Utrecht. De temperatuur liep op, waardoor ijskappen afsmolten en er grote hoeveelheden smeltwater vrijkwamen.

Door het vrijkomen van water uit ijskappen, gletsjers en het uitzetten van zeewater door opwarming, steeg de zeespiegel. Vermoedelijk was de maximale hoogte van de zeespiegel iets hoger dan tegenwoordig. In het ten opzichte van het zeeniveau laaggelegen Hunzedal en enkele aangrenzende gebieden in de provincie Groningen kon de zee tijdens het Eemien binnendringen. In een door getij beïnvloed milieu werden mariene sedimenten afgezet. Deze mariene afzettingen uit het Eemien, ingedeeld in de Eem Formatie (zie bijlage 2), vinden we terug in een strook die globaal loopt van het huidige Lauwersmeer langs de oostkant van de stad Groningen en het Zuidlaardermeer³³ tot de lijn Gieten-Veendam (Afbeelding 11). Ook in Noordoost-Groningen ten westen van de Eemshaven komen op een diepte van ongeveer 15 meter afzettingen van de Eem Formatie voor. Aan de basis zijn het vooral grof, schelphoudende zanden die naar boven toe overgaan in fijn zand en klei³⁴. Tegenwoordig liggen deze sedimenten op een diepte van 15 tot 30 meter onder maaiveld.

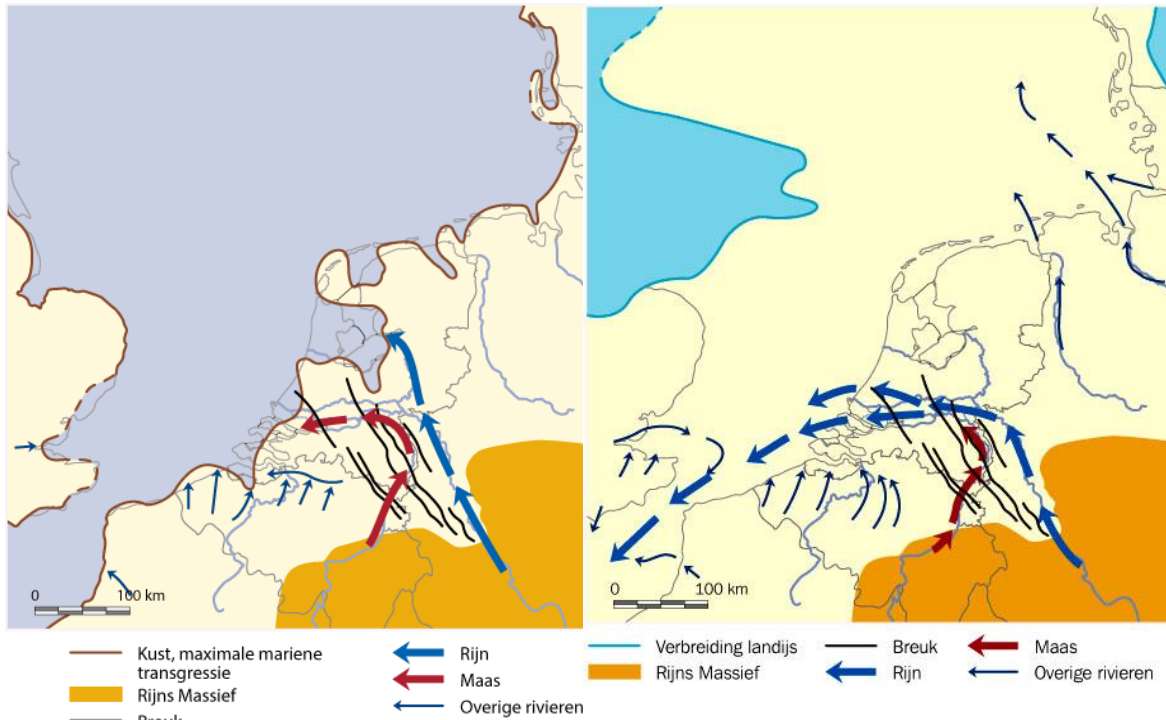


Afbeelding 11: Ligging van de Eem Formatie (lichtgroen)¹.

Weichselien

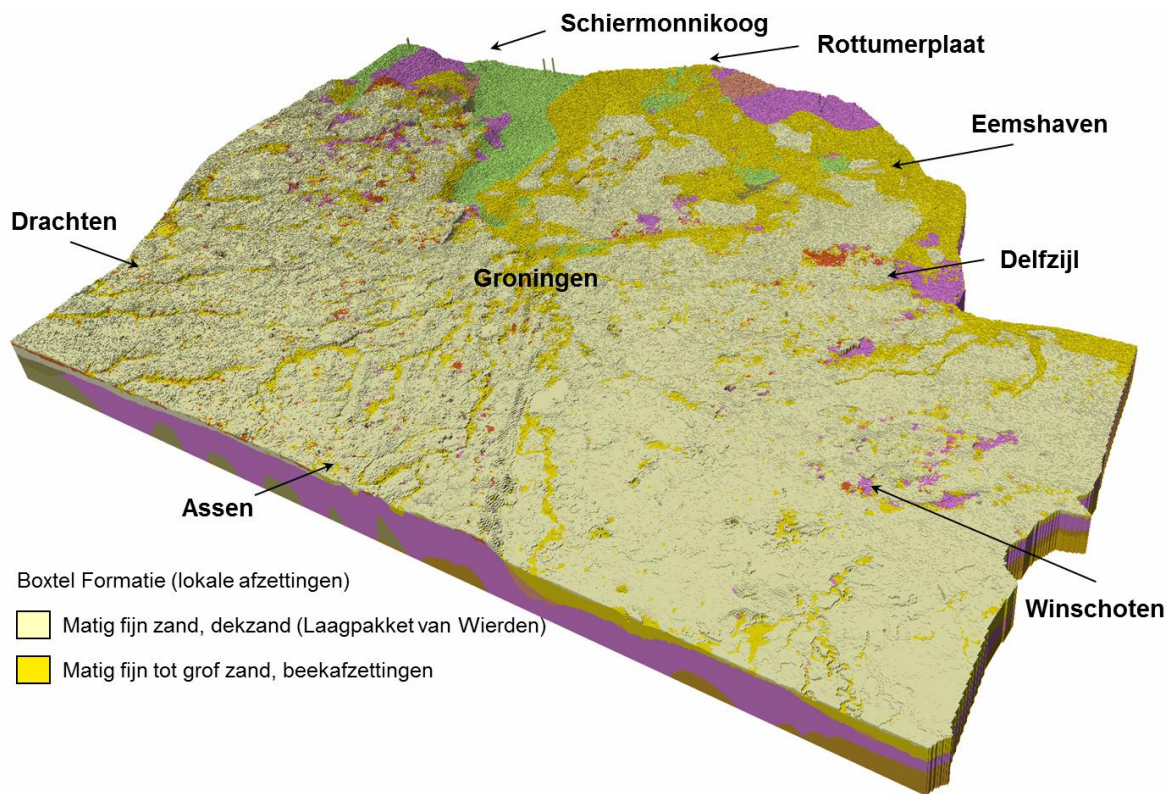
In het (tot nu toe!) laatste glaciaal lag Nederland weer in een koude klimaatzone. Maar deze keer bereikte het landijs Groningen niet en bleef het ijsfront steken in Midden-Denemarken (afbeelding 12). Wel waren er perioden dat het landschap van Nederland een toendra was, met dennen en dwergberken, en in koudere perioden zelfs een poolwoestijn. De zeespiegel lag veel lager dan tegenwoordig door de vastlegging van water in de ijskappen van Scandinavië. Omdat de zeespiegel zoveel lager was, konden de rivieren zich insnijden in het landschap waardoor deze dalen steeds dieper werden³⁵. In de koudste perioden was het landschap niet begroeid en hadden wind en water vrij spel. Doordat de bodem in de winter diep bevroren was (permafrost) en in de zomer alleen het bovenste laagje ontdooide, kon het water niet in de bodem dringen. Het water stroomde dan af over het landoppervlak waarbij zand en fijn grind in relatief brede stromen in de laagste delen werd achtergelaten. De landvormen van deze smeltwaterrijen vinden we nu nog terug als voorlopers van

de Ruiten Aa bij Sellingen en bij Bourtange³⁶. Uitgeslepen dalen, die tegenwoordig veel minder water te verwerken krijgen en daardoor droog zijn, zie we nu nog terug op de oostflank van de Hondsrug, zoals de Besloten Venen en in Helpman in de stad Groningen. De (smeltwater)afzettingen die onder dergelijke koude omstandigheden in de beekdalen gevormd zijn worden ook wel ‘fluvioperiglaciale zanden’ genoemd. Ze behoren tot de Formatie van Boxtel. Verspreid in de zandige smeltwaterafzettingen kunne dunne leemlagen aanwezig zijn.



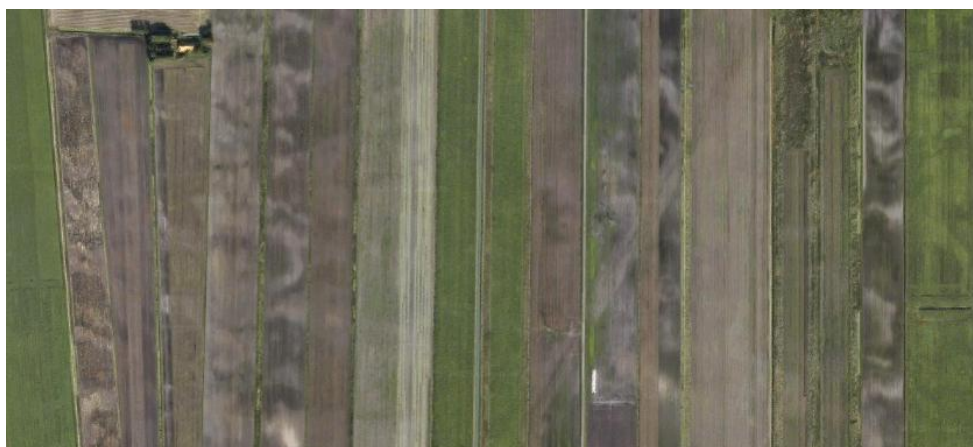
Afbeelding 12: Paleogeografie van Nederland in het Eemien interglaciaal (links) en in het Weichselien glaciaal (rechts)³.

In de droge en zeer koude periode vanaf ongeveer 26.000 tot 15.000 jaar geleden was de toendravegetatie minimaal en waren grote delen van het landschap onbegroeid. Men duidt dat wel aan als een poolwoestijn. Zand werd opgenomen door de wind en verderop weer afgezet. Grote delen van Nederland zijn op die manier bedekt geraakt door een tot enkele meters dikke laag zand: de zogenaamde dekzanden. Voorheen dacht men wel dat de zanden voornamelijk uit de toen droog liggende bedding van de Noordzee afkomstig waren. Huidige inzichten vertellen ons dat de dekzanden hoofdzakelijk een lokale herkomst hadden³⁷. De lagere delen in het landschap werden opgevuld met het opwaaiende zand door de wat beschuttere ligging, terwijl er op de hogere delen een dunne laag zand werd afgezet. De gemiddelde dikte van het dekzand bedraagt een meter of twee maar varieert lokaal sterk³⁸. Het landschap nivelleerde tot een licht glooiend oppervlak met hier en daar paraboolduinen³⁹. In het vol gestoven Hunzedal ter hoogte van Veendam bedraagt de dikte meer dan vijf meter. Samen met de onderliggende smeltwaterzanden en dunne leemlagen kan de dikte van het sedimentpakket hier oplopen tot 30 meter⁴⁰. De smeltwaterzanden, leemlagen en dekzanden uit het Weichselien worden alle tot de Formatie van Boxtel, Laagpakket van Wierden gerekend (afbeelding 13 en bijlage 2).



Afbeelding 13: Ligging van de Formatie van Boxtel (geel). Het Laagpakket van Wierden is dekzand ¹.

Het dekzand vormde een deken van zand over grote delen van Nederland. In Drenthe en het zuiden van Friesland) ligt het dekzand aan het oppervlak. In Groningen komt het dekzand aan de oppervlakte voor in de omgeving van Boertange, op de keilembulten van de Onstwedder Holte en rond Winschoten, Slochteren, op de Hondsrug en ook lokaal op de keileemrug van Noordhorn en Zuidhorn. Ook in het grootste deel van het Veenkoloniale landschap ligt het soms lichtglooiende dekzand aan de oppervlakte (Afbeelding 14). Dit reliëf is weer zichtbaar geworden na het afsteken van het in het Holoceen gevormde veenpakket (turf). Omdat het dekzand globaal helt van het zuidoosten naar het noordwesten, vinden we dit oude landschap verder naar het noorden in Groningen ook terug, maar dan in de ondergrond. De jongere afzettingen uit het Holoceen (zie volgende hoofdstuk) hebben dit afgedekt en elders is het dekzand door de eroderende werking van rivieren, getijdgeulen en de zee op een aantal plaatsen opgeruimd. Langs de noordkust bij de Eemshaven vinden we het dekzandlandschap terug op een diepte van ongeveer 20 meter.



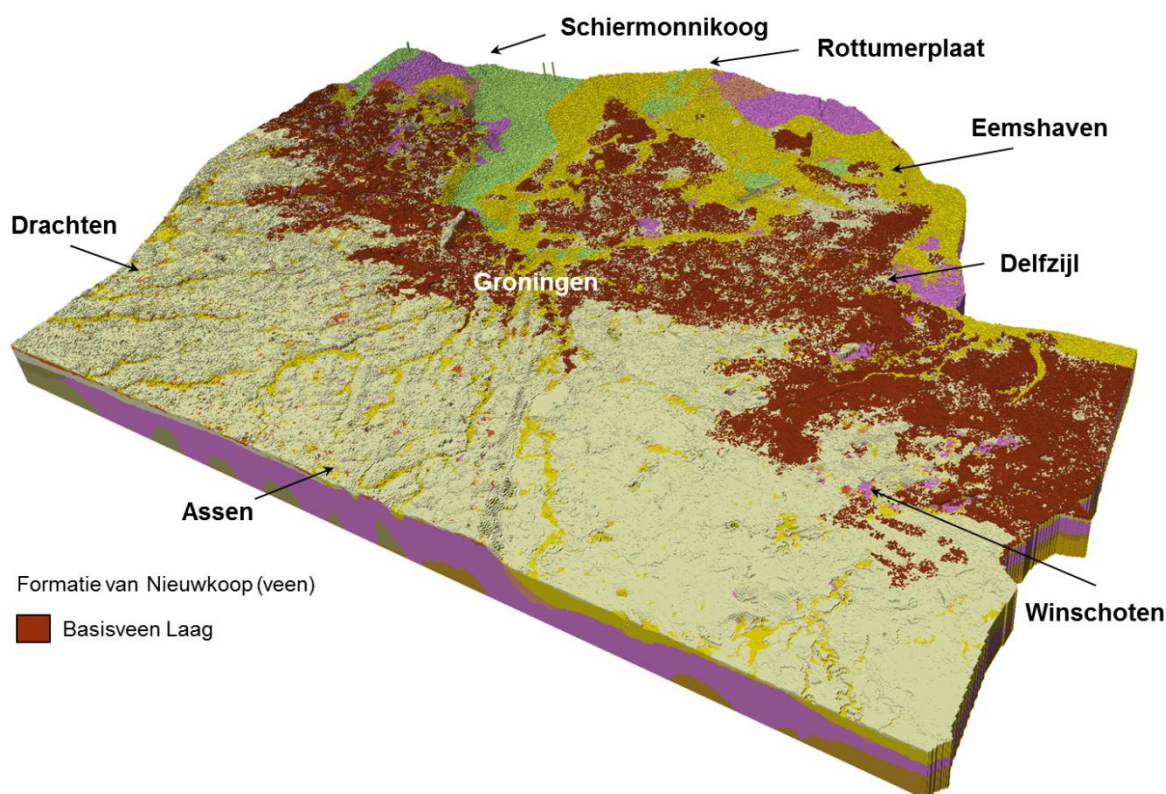
Afbeelding 14: In het vlekkerige patroon op de akkers ten oosten van Veendam is duidelijk het oorspronkelijke dekzandrelief zichtbaar. Na afvenen is de grond geëgaliseerd. De toenmalige lagere delen zijn donkergekleurd, de wittere vlekken zijn de voorheen hogere dekzandwelingen⁴¹.

Holoceen

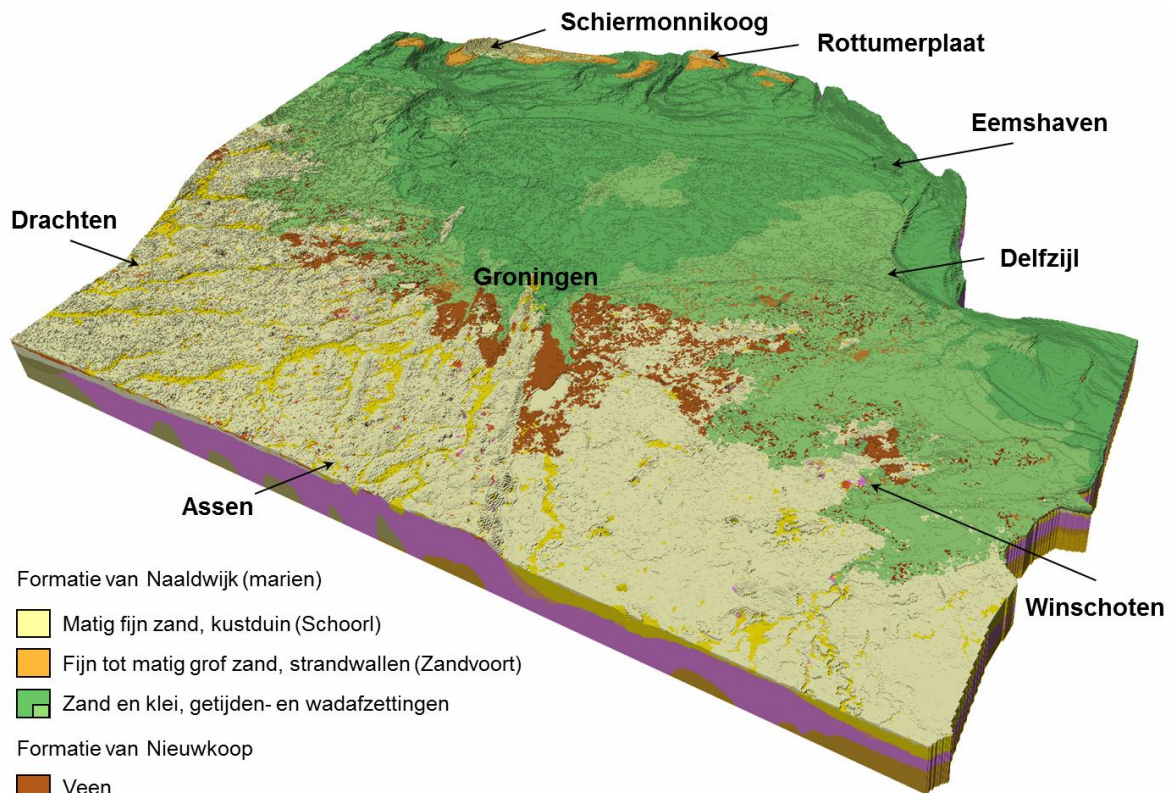
Het Holoceen is de huidige warme periode die volgt op het Weichselien en begint rond 11.700 jaar geleden (9.700 v. Chr.). De periode wordt gekenmerkt door een sterk stijgende zeespiegel als gevolg van het smelten van de ijskappen, een proces dat al zo'n 18.000 jaar geleden, dus voor aanvang van het Holoceen begon. In het begin stijgt de zeespiegel snel, met gemiddeld meer dan 1 meter per eeuw. Aan het begin van het Holoceen (ca. 11.000 jaar geleden) staat het zeeniveau op 45 à 50 m beneden NAP en begint de droog liggende Noordzee weer vol te lopen. De snelheid waarmee de zeespiegel stijgt ligt op 60 - 75 cm per eeuw en rond 7500 jaar geleden was de zee zo ver gestegen, dat het noordelijk deel van de provincie Groningen binnen het bereik van de zee komt te liggen.

Het landschap waarover de zee naar binnen dringt helt flauwtjes af in de richting van de zee. De laag liggende delen van dat landschap, zoals het Hunzedal dat we tegenwoordig nog in de ondergrond ten noordwesten van de stad Groningen terugvinden, worden het eerst overstromd en veranderen in getijdengebieden waar eb en vloed elke dag voor dynamiek zorgen. Door de stijging van het zeeniveau gaat ook het grondwater in het aangrenzende kustgebied stijgen. Op veel plaatsen wordt het zo nat dat er op het grensgebied tussen land en zee moerassen ontstaan waar afgestorven plantenresten zich ophopen tot veen. Dit moerassige veengebied schuift onder invloed van de stijgende zeespiegel steeds verder landinwaarts en wordt vanuit noord en noordwestelijke richting overstromd door de zee. Daar ontstaat een getijdengebied met getijdegeulen, wadden en kwelders, vergelijkbaar met de huidige Waddenzee, waar klei en zand wordt afgezet.⁴² Het veen dat in de kustmoerassen is gevormd vormt in de Groningse kustvlakte de onderste laag van het pakket holocene sedimenten en wordt ook wel als *basisveen* aangeduid (Formatie van Nieuwkoop, afbeelding 15 en bijlage 2).

Ook in de hogere delen van het landschap buiten het bereik van de zee vindt er in Noord-Nederland op uitgebreide schaal veenvorming plaats. In belangrijke mate wordt die veenvorming veroorzaakt door de in de ondergrond aanwezige keileem en potklei afzettingen die een goede drainage en afvoer van grondwater belemmeren. Dit veen dat in Oost-Groningen, in Drenthe en Friesland voorkomt ontwikkelt zich geleidelijk aan tot een uitgebreid hoogveenlandschap.



Afbeelding 15: Verbreiding van het basisveen (laag uit de Formatie van Nieuwkoop) aan de onderkant van het pakket holocene mariene afzettingen, bruin¹.



Afbeelding 16: Holocene zee afzettingen (Formatie van Naaldwijk) en veen van de Formatie van Nieuwkoop. Het laagpakket van Schoorl bevat de kustduinen en het laagpakket van Zandvoort omvat de strandzanden van de Waddeneilanden. Het laagpakket van Walcheren bevat zand en klei die aan maaiveld liggen en zijn afgezet in getijden/wadengebieden. De donkergroene kleur verwijst naar onder het laagpakket van Walcheren liggende wadafzettingen.¹

Als gevolg van de steeds maar stijgende zeespiegel worden de kustmoerassen steeds verder landinwaarts door de zee overstromd. Er wordt sediment op het veen afgezet maar door erosie in getijdegeulen verdwijnen er ook delen van het eerder gevormd veen. Via de getijdegeulen wordt er sediment landinwaarts getransporteerd en afgezet. Er worden kwelders en wadden gevormd. Door dit proces kan de hoogte van het landoppervlak door voldoende aanvoer van sediment gelijke tred houden met de stijging van het zeeniveau. De dynamiek die in zo'n wadengebied heerst en waardoor geulen en platen zich steeds kunnen verleggen zorgt er onder andere voor dat de opbouw van het holocene sedimentpakket in de Groningse kustvlakte van plaats tot plaats sterk kan variëren (Afbelding 16 en het geologische profiel in bijlage 1).

Zandige afzettingen worden afgezet op plaatsen waar het water relatief snel stroomt zoals in getijdegeulen of op de oeverwallen van de geulen. Getijdestromingen en wind gedreven golven spelen daarnaast een belangrijke rol bij de vorming van zandplaten en stranden. In meer rustige omstandigheden kan klei bezinken in slikken maar ook op kwelders. Vooral de boven gemiddeld hoogwater liggende kwelders kenmerken zich door een sterke afwisseling van centimeters dunne zand en kleilaagjes. De zandige laagjes in de kwelders zijn daar vaak tijdens stormvloed afgezet (afbeelding 17). In vrijwel alle sedimentaire milieus van het wadengebied leven schelpdieren en in de afzettingen vinden we daarvan vaak de resten terug.

Vanaf zo'n 6000 jaar geleden zijn de grote ijskappen in het noorden vrijwel volledig afgesmolten en neemt de snelheid waarmee de zeespiegel stijgt sterk af tot zo'n 30-40 cm per eeuw⁴³. In de volgende eeuwen breidt het Wadengebied in Noord-Nederland zich geleidelijk aan verder uit en schuift de invloed van de zee steeds verder landinwaarts. In deze fase worden er grote hoeveelheden zand en klei in de kustvlakte afgezet. Langs de kust van West-Nederland wordt er zelfs voldoende sediment aangevoerd om de stijging van het zeeniveau te compenseren. Als gevolg ontstaat er daar een door strandwallen en duinen gevormde gesloten kustlijn. In Noord-Nederland zien we echter een ander verloop van de kustontwikkeling. De getijdegebieden van het Hunzedal en het Fivel gebied worden in omvang steeds groter en de kustlijn blijft een open karakter houden, met Waddeneiland die worden onderbroken door grote zeegaten. Dit verschil met de kustontwikkeling in West-Nederland heeft drie oorzaken. In de eerste plaats omdat de bodem in Noord-Nederland sterker daalt

dan die in het westen en er dus meer sediment nodig is om de zeespiegelstijging te kunnen compenseren. In de tweede plaats ligt de West-Nederlandse kust dwars op de overheersende westenwinden waardoor het door golven gedreven zandtransport loodrecht op de kust stond. In Noord-Nederland daarentegen was de dominante windrichting parallel aan de kust. Tenslotte werd het beschikbare zand langs de westelijke kust van Nederland ook nog aangevuld met sediment dat Rijn en Maas naar zee voerden.⁴⁴



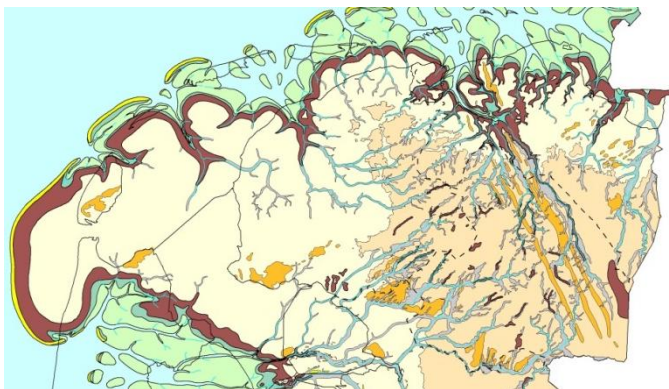
Afbeelding 17: Afwisselende klei- en zandlaagjes op de kwelder van Schiermonnikoog.

Rond ongeveer 3500 jaar geleden (1500 v. Chr.) was de snelheid van de zeespiegel stijging tot 15 à 25 cm per eeuw afgenomen. Het Groningse landschap bestaat nog steeds uit een open getijdengebied met eilanden en daartussen grote zeegaten langs de kustlijn. Diverse geulen en kreken doorsneden het gebied maar de sedimentatie in het gebied bleef onvoldoende om de stijging van het zeeniveau bij te houden. Wel zien we langs de randen van de getijdegebieden (Hunzedal en Fivel) uitbreiding van de veengebieden. Maar vergeleken met West-Nederland is de veenvorming in deze tijd relatief beperkt.

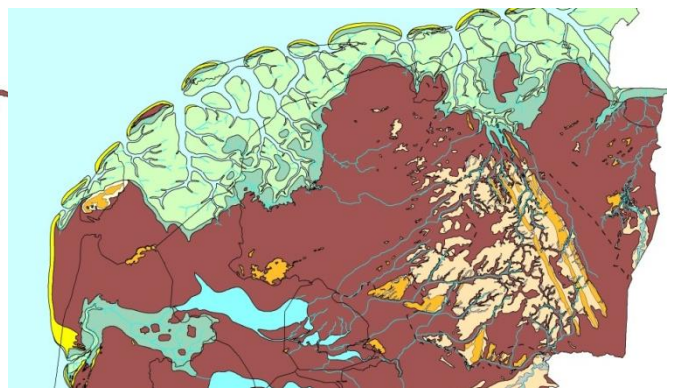
De afname van de zeespiegelstijging zette door, en het waddegebied van de noordelijke kuststreek overstromde minder vaak. Er ontstond vanaf ongeveer 500 v. Chr. een kweldergebied, met zandige kwelderwallen langs de kust en oeverwallen langs de getijdenkreken. Deze hoger liggende wallen vormden de eerste bewoningsplekken in het gebied. De vruchtbare bodem en de afname in overstromingen trok in eerste instantie vooral bewoners die zomers hun vee lieten grazen, en in de winter de stormen ontweken en het gebied weer verlieten.⁴⁵ Maar al snel vestigde men er zich permanent door kleine woonheuvels (wierden in Groningen en het oosten van Friesland, verder naar het westen terpen genaamd) op te werpen. De wierden werden aangelegd op plekken die van nature ietwat hoger lagen dan hun omgeving.

Rond het begin van de jaartelling slibden de getijdengebieden van Hunze en Fivel steeds verder op. Het areaal kwelders werd steeds groter en mensen begonnen het veen langs de randen van het gebied te ontginnen, (kaart 100 n. Chr. Afbeelding 18). Door aanleg van afwateringssystemen werd het veen ontwaterd en dat leidde tot inklinken van de bodem. Tegelijkertijd veroorzaakten, de door de mens gecreëerde, lagere grondwaterstanden oxidatie van het veen en dat leidde eveneens tot daling van het maaiveld. Deze door de mens veroorzaakte bodemdaling had ook tot gevolg dat het gebied weer bereikbaar werd voor de zee. Het land werd bij hoogwater regelmatig overstromd en er kon opnieuw zand en klei worden afgezet.⁴⁶ De afzetting van dit kwelderdek op in het eerder ontgonnen veengebied versterkt ook nog eens het inklinken van het bodem. Als gevolg kon de zee weer grote delen van het noordelijk kustgebied overstromen. In Groningen resulteerde dit in de vorming van een nieuw getijdegebied rond 800: de Lauwerszee. Door voortdurende stormen bereikte deze uiteindelijk rond 1200 zijn maximale omvang (kaart 1500 n. Chr. Afbeelding 18). Waterde de Hunze oorspronkelijk recht naar het noorden af, in deze periode boog de rivier meer naar het

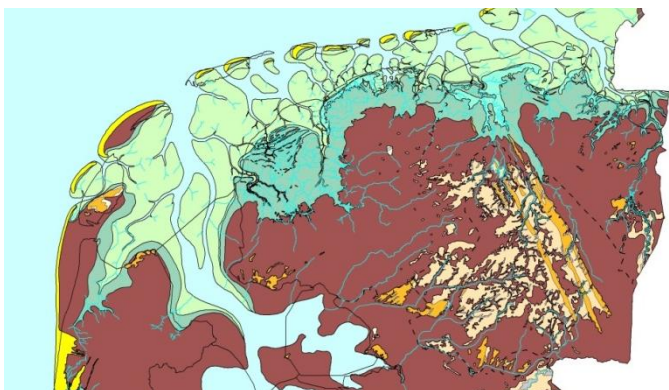
westen en volgde het tracé dat nu bekend staat als het Reiddiep. Op veel plekken is door deze overstromingen en vorming van getijden geulen of krekken het veen in de ondergrond geërodeerd. Overigens vond er voortdurende opslibbing plaats in de grote getijdengebieden van Noord-Nederland. Het areaal kwelderland dat niet meer dagelijks overstromd werd nam toe en vormden goede locaties voor bewoning.



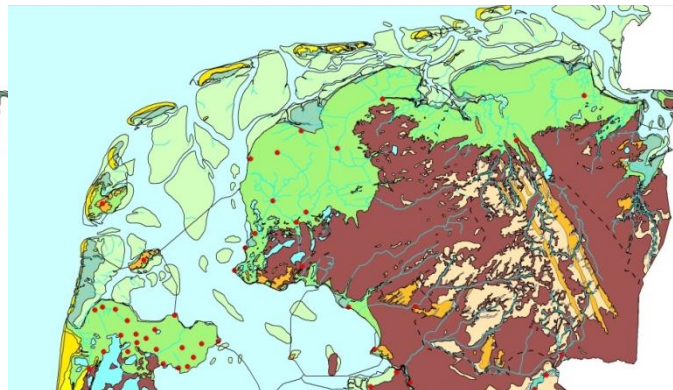
5500 v. Chr.



1500 v. Chr.



100 n. Chr.



1500 n. Chr.

Afbeelding 18: Ontwikkeling van het Noord-Nederlandse landschap in paleogeografische kaarten⁴⁷.

Holoceen landschap

Kustduinen

- Hoog duin
- Duin en strandwallen
- Laag duin

Landduinen

- Stufzand gebied

Overstroomde gebieden

- Wadden en slikken
- Riviervlakten en kwelders.
- Kwelderwallen

Veen gebieden

- Veen

Antropogene gebieden

- Ingedijkt overstromingsgebied
- Droogmakerijen
- Stedelijk gebied

Permanent onderwater

- Binnenwater
- Buitenwater

Pleistoceen landschap

- Beekdal- en rivierengebied
- Pleistoceen zandgebied, beneden 16 m -NAP
- Pleistoceen zandgebied, tussen 16 en 0 m -NAP
- Pleistoceen zandgebied, boven 0 m -NAP
- Rivierduinen
- Gestuwd gebied
- Lössgebied
- Tertiaire en oudere afzettingen

Symbolen

- Outline Nederland
- Provinciegrens
- Waterlopen
- Steden

Toen men, vanuit diverse klooster georganiseerd, rond de twaalfde eeuw het land begon te bedijken vond er binnendijs geen sedimentatie meer plaats. De voormalige kweldergronden werden echter door aanleg van sloten en afwateringssystemen goed ontwaterd met als gevolg dat het maaiveld door klink van de bodem steeds lager kwam te liggen. De zeespiegel steeg ondertussen door en in het buitendijkse kweldergebied stimuleerden boeren de opslibbing, waardoor grote aaneengesloten gebieden met een zandig kleigrond (zavel) ontstonden. Deze nieuwe kweldergronden konden vervolgens worden ingedijkt en omdat deze polders veel langer met de zeespiegel konden meegroeien, liggen die gebieden hoger dan het achterliggende eerder ingepolderde land. Op die wijze konden steeds weer nieuwe polders worden aangelegd en is het Groninger Hoogeland ontstaan.

Na de bedijking van met name de oudere kleigebieden bleef een gevarieerd landschap over met een groot aantal kronkelende sloten: de kreken van het voormalige waddengebied. In heel veel gebieden zijn deze in het kader van de landbouw gedurende de laatste eeuw gedempt of rechtgetrokken.

Conclusie

De vorming van het Groningse kustlandschap is het resultaat van een complex samenspel van verschillende geologische processen, zoals de schurende werking van landijskappen, poolwoestijnomstandigheden, de stijging van het zeeniveau, sedimentatie en erosie, vorming van veen en bodemdaling. Menselijk ingrijpen in die processen is daarbij vanaf het begin van de jaartelling een belangrijke factor geworden. Het resultaat is een grote variëteit aan verschillende bodemtypes, met op korte afstand een sterk wisselende opbouw van de bodem. In het landschap is dit terug te zien in (soms subtiele) hoogteverschillen, in het landgebruik en de verkavelingspatronen. Wat minder goed met het blote oog waar te nemen is, is dat diezelfde variatie ook terug te vinden is in de verticale opbouw van de bodem. Alleen bij graafwerkzaamheden komen de vaak prachtige structuren van de verschillende geologische afzettingen tevoorschijn.

-
- ¹ GeoTOP model van TNO – Geologische Dienst Nederland (2015 bèta-versie)
- ² TNO Geologische Dienst Nederland
- ³ De Mulder et al, 2003.
- ⁴ De Mulder et al, 2003. p. 193
- ⁵ De Gans, 2007. p. 180.
- ⁶ Wingfield, 1990 en Van Dijke & Veldkamp, 1995.
- ⁷ Berendsen, 2008. P. 72.
- ⁸ www.dinoloket.nl/formatie-van-peelo
- ⁹ De Mulder et al, 2003. P. 336. Zie ook de bijlage “Overzicht van formatienamen en afzettingmilieus”
- ¹⁰ De Mulder et al, 2003. P. 202
- ¹¹ Schroor & Meijering, 2007. P. 47.
- ¹² Meijles & Huisman, 2014.
- ¹³ De Mulder et al. 2003. p. 196.
- ¹⁴ Loutre & Berger, 2003 p. 209-217.
- ¹⁵ De Mulder et al. 2003. p. 310.
- ¹⁶ De Mulder et al. 2003. P. 200.
- ¹⁷ Berendsen, 2008. P. 72.
- ¹⁸ Schroor & Meijering, 2007. P. 47.
- ¹⁹ Berendsen, 1998. P. 95
- ²⁰ De Mulder et al, 2003.
- ²¹ Huisman, 2015. In: Spek, Elerie, Bakker en Noordhoff
- ²² Berendsen, 2008. P. 72
- ²³ De Mulder et al, 2003. P. 201.
- ²⁴ Rappol, 1987; Beets, 1987
- ²⁵ Bregman & Smit, 2012.
- ²⁶ Bregman & Smit, 2012
- ²⁷ www.geopark.nl
- ²⁸ De Mulder et al, 2003. P. 338.
- ²⁹ Schroor & Meijering, 2007. P. 49.
- ³⁰ Schroor & Meijering, 2007. P. 49.
- ³¹ Berendsen, 2008. P. 74.
- ³² Schroor & Meijering, 2007. P. 49.
- ³³ Schroor & Meijering, 2007. P. 49
- ³⁴ Berendsen, 2008. P. 74.
- ³⁵ Schroor & Meijering, 200. P. 49.
- ³⁶ Schroor & Meijering, p. 2007, p. 50.
- ³⁷ Berendsen, 2008, p. 73.
- ³⁸ Berendsen, 2008, p. 73.
- ³⁹ De Gans, 2007, p. 184.
- ⁴⁰ Schroor & Meijering, p. 2007, p. 50.
- ⁴¹ Aerodata via Google Maps
- ⁴² Vos et al, 2011. P. 43-45.
- ⁴³ Vos et al, 2011. P. 52.
- ⁴⁴ Vos et al, 2011. P. 52
- ⁴⁵ Delvigne, 2008. P. 36-37.
- ⁴⁶ Vos et al, 2011. p. 64
- ⁴⁷ Vos & De Vries, 2013

Meer lezen?

De volgende sites zijn goede ingangen voor meer informatie:

Kijkeensomlaag.nl is een mooie toegankelijke site die alle ins en outs beschrijft van de ijsbedekking in het Saalien. Kennislink.nl is een algemene site waar ook geologische zaken aan de orde komen. De site Natuurinformatie.nl heeft een grote hoeveelheid beschrijvingen beschikbaar over de geologische ontstaanswijze van Nederland. Dit geldt ook voor Geologievannederland.nl. De site archeologieinnederland.nl geeft een zeer uitgebreid inzicht in de ontwikkelinge van Nederland gedurende het Holoceen. Zelf boringen opzoeken of een dwarsdoorsnede maken? Bekijk de site Dinoloket.nl eens.

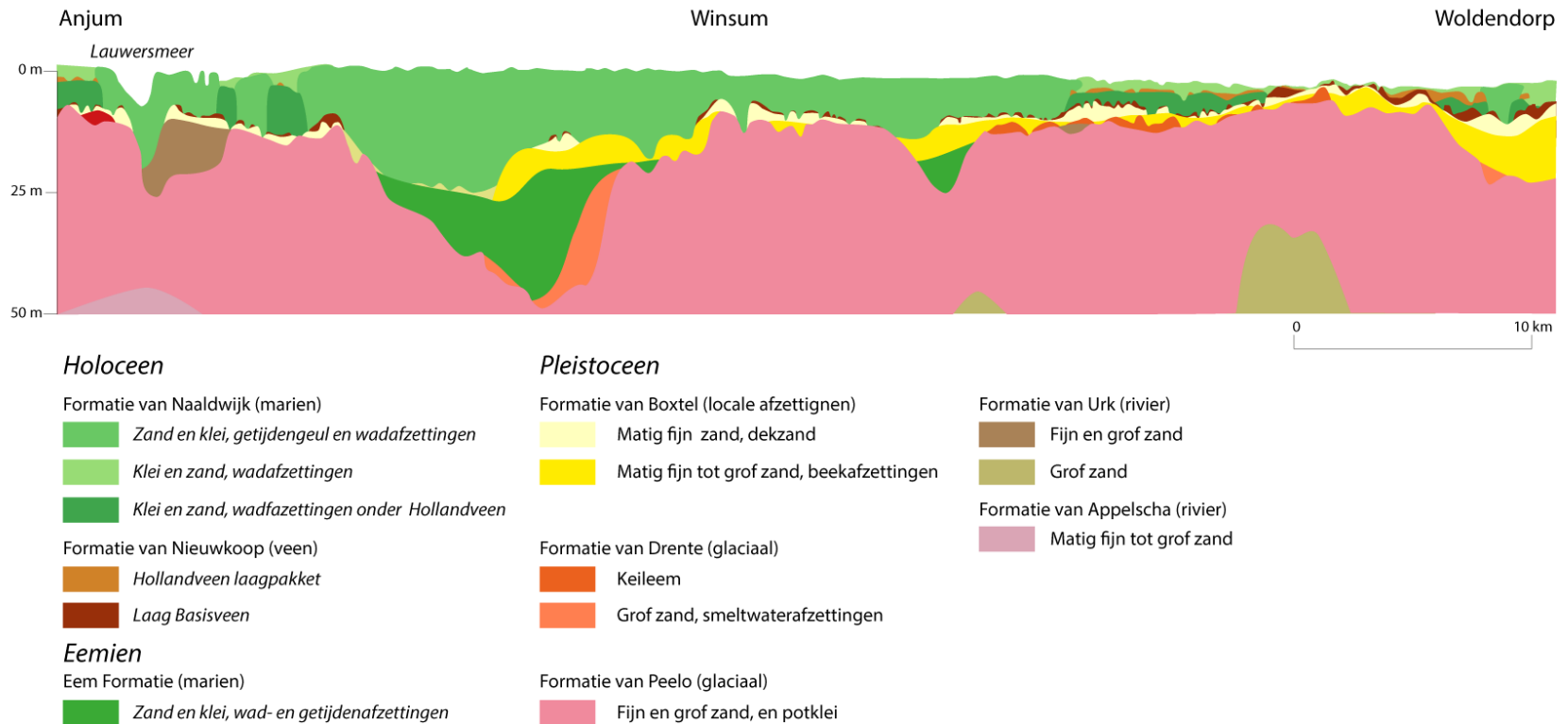
Literatuur

Voor deze tekst is gebruik gemaakt van de volgende boeken, waarvan een deel specifiek voor algemeen publiek is geschreven:

- Berendsen, HJA. 1998. De vorming van het land. Van Gorcum, Assen. 293p
- Berendsen, HJA. 2008. Landschappelijk Nederland. Van Gorcum, Assen. 243p.
- Berg, van der, MW. & Beets, D. 1987. Saalian glacial deposits and morphology in The Netherlands, pp. 235-251, In: J.J.M. van der Meer (ed.), INQUA Symposium on the Genesis and Lithology of glacial deposits. – Amsterdam, 1986. Balkema, Rotterdam, Boston, pp. 1-270; ISBN 90-6191-731-X.
- Bosch, JHA. 1990. Toelichtingen bij de Geologische kaart van Nederland 1:50.000. Blad Assen West (12W) en Blad Assen Oost (12O). Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Bregman E, Smit, FWH. 2012. Genesis of the Hondsrug A Saalian Megaflute, Drenthe, The Netherlands - aspiring Geopark
- Delvigne, J. 2008. Middag Humsterland – op het spoor van een eeuwenoud wierdenlandschap. Archeologie in Groningen 4. 96p.
- Dijke, JJ van & Veldkamp A. 1996. Climate controlled glacial erosion in the unconsolidated sediments of northwestern Europe, based on a genetic model for tunnel valley foundation. Earth Surface Processes and Landforms 21, p 327-340.
- Gans, W. de. 2007. Quaternary. In: Wong ThE, Batjes DAJ, Jager J de (eds). Geology of the Netherlands. KNAW, Amsterdam, 354 p.
- Loutre MF. & Berger A. 2003. Stage 11 as an analogue for the present interglacial, Global Planetary Change 209-217.
- Meijles EW & Huisman H. 2014. Drie ijstijden in een tunnelbak in Noordhorn. Geobrief 39 (6).
- Mulder, FJ de, Geluk MC, Ritsema IL, Westerhoff WE en Wong TE. 2003. De ondergrond van Nederland. Wolters Noordhoff, Groningen, 379p.
- Pierik, HJA. 2010. An integrated approach to reconstruct the Saalian glaciation. Rapport Universiteit Utrecht, 110p.
- Rappol, M. 1987. Saalian till in the Netherlands: a review, pp.3-21, In: J.J.M. van der Meer (ed.), INQUA Symposium on the Genesis and Lithology of glacial deposits. – Amsterdam, 1986. Balkema, Rotterdam, Boston, pp. 1-270; ISBN 90-6191-731-X.
- Schroor M, Meijering J. 2007. Golden raand – landschappen van Groningen. Boekvorm Uitgevers, Assen. 300p.
- Spek, Th, Elerie H, Bakker JP en Noordhof I. 2015. Biografie van de Drentse Aa. 420p.
- Van Dijke, J.J., Veldkamp, A. 1996. Climate controlled glacial erosion in the unconsolidated sediments of Northwestern Europe, based on a genetic model for tunnel valley formation. Earth surface processes and landforms, vol. 21, 327 – 340
- Vos, P. & S. de Vries 2013: 2e generatie palaeogeografische kaarten van Nederland (versie 2.0). Deltares, Utrecht. Op 11 maart 2015 gedownload van www.archeologieinnederland.nl.
- Vos, P. & S. de Vries: 2014 Geologisch en tijd-diepteprofiel [provincie], Deltares Utrecht, gedownload op 11 maart 2015 www.archeologieinederland.nl
- Vos, PC, Bazelmans J, Weerts HJT & van der Meulen MJM (red). 2011. Atlas van Nederland in het Holoceen. Uitgeverij Bert Bakker. 94p.
- Wingfield, R. 1990. The origin of major incisions within Pleistocene deposits of the North Sea. Marine Geology 91, p 31-52.

Bijlagen

Bijlage 1: Geologische dwarsdoorsnede Groningen



Geologische dwarsdoorsnede door Groningen West-Oost van het Lauwersmeer via Winsum naar Woldendorp. Voor de legenda wordt verwezen naar onderstaande tabel (Bron: Vos & De Vries, 2014).

Bijlage 2: Overzicht van formatienamen en afzettingsmilieus

Formatienaam	Laagpakket*	Code**	Afzettingsmilieu	Lithologie	Periode***
Antropogeen		AAop	door de mens	zand, klei, afval	Holoceen
Formatie van Bortel	Laagpakket van Kootwijk	BXKO	windafzetting (stuifzand)	zand	Holoceen
Formatie van Nieuwkoop	Griendtsveen	NIGR	moeras	veen	Holoceen
Naaldwijk formatie	Schoorl	NASC	windafzetting (duinen)	zand	Holoceen
Naaldwijk formatie	Zandvoort	NAZA	strandafzettingen	zand	Holoceen
Formatie van Nieuwkoop	Nij Beets	NINB	moeras	veen	Holoceen
Naaldwijk formatie	Geen onderscheid	NA	getijde	Zand en klei	Holoceen
Naaldwijk formatie	Walcheren	NAWA	getijde, bovenste eenheid	Zand en klei	Holoceen
Formatie van Nieuwkoop	Hollandveen	NIHO	moeras	veen	Holoceen
Naaldwijk formatie	Wormer	NAWO	getijde, onderste eenheid	Klei en zand	Holoceen
Formatie van Nieuwkoop	Basisveen	NIBA	moeras	veen	Holoceen
Formatie van Bortel	Laagpakket van Wierden	BXWI	windafzetting (dekzand)	zand	Weichselien
Formatie van Bortel	Singraven 1	BXSI1			
Formatie van Bortel	Singraven 2	BXSI2	kleine beken (onderste eenheid)	Zand en klei	Holoceen
Formatie van Bortel		BX	afzettingen van kleine rivieren	Zand en leem	Holoceen
Eem formatie		EE	ondiepe kustnabije zeeafzettingen	Zand en klei	Eemien
Formatie van Drenthe	Laagpakket van Gieten	DRGI	ijsafzettingen (grondmorene)	keileem	Saalien
	Laagpakket van....				Saalien
Formatie van Drachten		DN	windafzettingen en lokale rivieren/meren	zand	
Formatie van Peelo		PE	afzettingen van onder en voor het ijs; afzettingen door smeltwater	Zand en klei	Elsterien
Formatie van Urk	Laagpakket van Tijnje	URTY	rivierafzettingen (Rijn)	zand	
Sterksel formatie		ST			
Formatie van Appelscha		AP	rivierafzettingen (oostelijke rivieren)	zand	
Formatie van Peize		PZWA	rivierafzettingen (Eridanos)	zand	

*In Engelstalige teksten wordt voor "laagpakket" de term "member" gebruikt.

**Codering die wordt gehanteerd in het rapport "Geological schematisation of the shallow subsurface of Groningen for site response to earth quakes".

***Geologische periode bij benadering. Strikt geologisch genomen zijn de formaties niet gedefinieerd op basis van specifiek perioden. Maar als vuistregel is een indicatie van de tijd toch opgenomen in de tabel.

Bijlage 3: Glossary

Lijst ENG-NL en vv. van veelgebruikte Engelse termen in het rapport

Nederlands	Engels
laagpakket	member
formatie	formation
terp / wierde	dwelling mound
keileem	till
stuwwal	ice-pushed ridge
wierde	dwelling mound