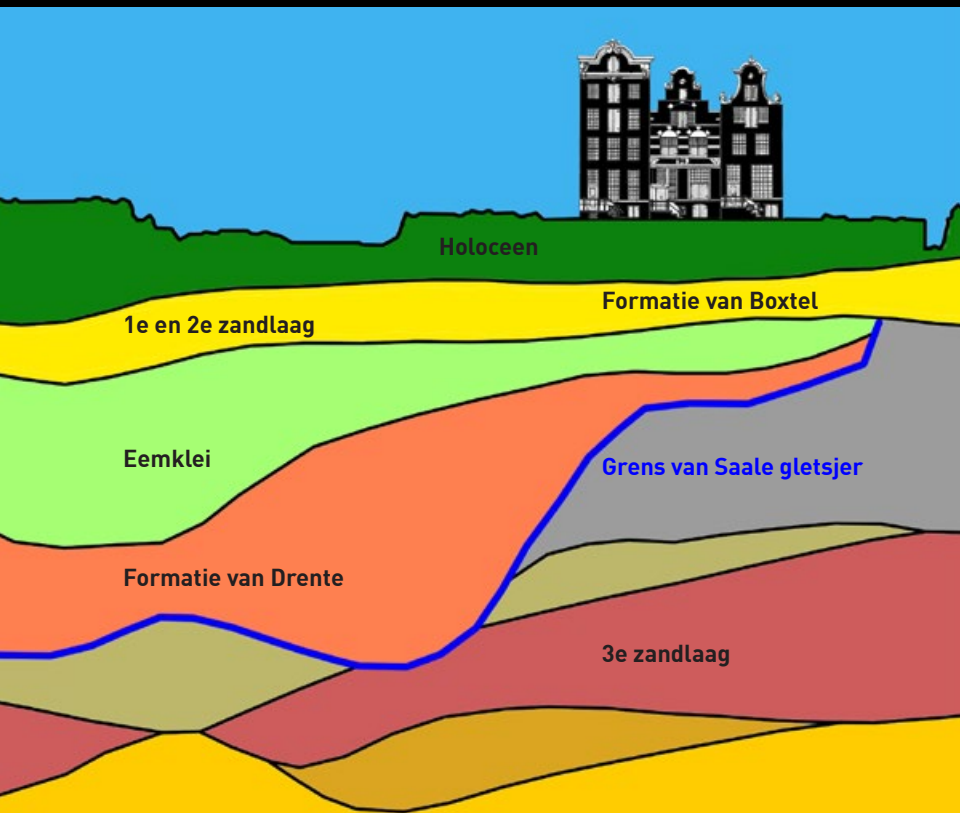


HERMAN KEIJER


1-2-3 GEOLOGIE VOOR INGENIEURS



1-2-3 Geologie voor Ingenieurs

Maart 2015



A person wearing a blue jacket and red boots is working with soil in a wooden frame. The person is using a tool to dig into the soil, which is being placed into a wooden frame. The soil is dark and appears to be a mix of sand and clay. The frame is made of wooden planks and is set on a concrete surface. The background is dark, suggesting an indoor or shaded outdoor setting.

HERMAN KEIJER

1-2-3 GEOLOGIE VOOR INGENIEURS

Inhoud

0	Voorwoord	8
1	Ouderdom van de aarde en geologische tijdschaal	11
2	De oudste sporen van Nederland	12
3	Paleozoïcum	14
4	Mesozoïcum	20
5	Cenozoïcum	23
6	Bronnen	63

Deze uitgave is mede mogelijk
gemaakt met steun van het
Koninklijk Instituut Van Ingenieurs (KIVI).



Voorwoord



Dit boekje is bedoeld om ingenieurs een globaal overzicht te geven van het ontstaan van de bodem van Nederland, afgezet tegen de geologische tijdschaal.

Het overzicht van het proces van de bodemopbouw loopt van oud naar nieuw, en van grof naar fijn. Bij de recentere afzettingen wordt ook meteen een verband gelegd tussen geologie en geotechniek.

Ik hoop dat '1-2-3 Geologie voor Ingenieurs' de drempel verlaagt voor ingenieurs om geologie als een verrijking van de geotechniek te ervaren.

Herman Keijer

Senior Adviseur Geotechniek

Inleiding



Door tropen en ijstijden

De grond onder onze voeten, letterlijk genomen, dat is waar dit boekje over gaat. Veel uitdrukkingen in de Nederlandse taal zijn verbonden met grond, soms helaas niet al te positief. Denk bijvoorbeeld aan 'de grond onder zich voelen wegzakken', 'de grond in boren' of 'aan de grond zitten'. Aan de andere kant is het hebben van een stevige basis in de grond juist een positief gegeven, terug te vinden in uitdrukkingen als 'met beide benen op de grond staan', 'vaste grond onder de voeten hebben' of 'vaste voet aan de grond krijgen'.

Maar hoe is die grond eigenlijk opgebouwd? De ondergrond lijkt een statisch gegeven; het is er gewoon en dat al miljoenen jaren. Het ontstaansproces van de bodem kan worden verklaard vanuit de geologie en dat is waar dit boekje over gaat. Voor ingenieurs, vooral de civielen, die gewend zijn te bouwen in, op of met de grond die voorhanden is, is de soort grond die men tegenkomt van groot belang. Zand, klei en veen of dieper in de ondergrond gesteente, zoutlagen of kolen. Ze zorgen voor grondstoffen en delfstoffen en maken het bouwen mogelijk, maar soms ook moeilijk.

In dit boekje wordt op een begrijpelijke wijze uitgelegd hoe de bodem van Nederland is ontstaan. De Nederlandse bodem maakt daarbij interessante omzwervingen over de aardbol die leiden tot tropische omstandigheden, ijstijden en alles daartussen. Elk van die omstandigheden zorgt voor eigen afzettingen in de bodem. Variaties in de ondergrond die van essentieel belang zijn voor ingenieurs, omdat ze verklaren waarom aardbevingen voorkomen, waar gas of steenkool gevonden kan worden en waar



huizen op palen gefundeerd moeten worden vanwege slappe klei- en veenlagen direct aan de oppervlakte.

Dit boekje geeft een kijkje in de grond. In de buitenwereld kunnen we dat ook, maar dan met hulpmiddelen zoals de sondeerconus. Deze conus maakt het mogelijk om eigenschappen van de ondergrond af te speuren en te vangen in een grafiek met punt- en schachtweerstand. Dit boekje draagt bij aan een essentieel begrip van de opbouw van de ondergrond, zodat het makkelijker wordt de ondergrond te interpreteren en vooral ook om lokale variaties te onderkennen. Zo wordt een sondeergrafiek een weergave van een boeiende rondreis van continenten over de aardbol.

Het Koninklijk Instituut Van Ingenieurs en dan speciaal de afdeling die zich met de (ondiepe) ondergrond bezighoudt, KIVI afdeling Geotechniek, is dan ook zeer verheugd u deze introductie in de ontstaansgeschiedenis van onze ondergrond te kunnen presenteren, dankzij de inspanningen van Herman Keijer. Uit vele bronnen heeft hij een overzicht gemaakt van de verschillende tijdperken in de geschiedenis van de Nederlandse bodem, waarmee deze tot leven komt. Een boekje 'met beide benen op de grond' en met liefde voor het vak geschreven.

Dr. ir. Mandy Korff

Voorzitter KIVI afdeling Geotechniek

Ouderdom van de aarde en geologische tijdschaal

1

De geschiedenis van de aarde wordt ingedeeld in geologische tijdperken. Volgens de gangbare wetenschappelijke inzichten is onze planeet ongeveer 4,6 miljard jaar oud. Het grootste deel van het oppervlak van Nederland is minder dan 2,6 miljoen jaar oud en is gevormd in de laatste (en huidige) geologische periode; het Kwartair. De toplagen van Nederland zijn dus relatief gezien 'piepjong'.

ERA	PERIODE	TIJDVAK	OUDERDOM IN MILJOEN JAAR
Cenozoïcum	Kwartair	Holoceen	0 – 0,012
		Pleistoceen	2,6 – 0,012
	Neogeen	Plioceen	5,3 – 2,6
		Mioceen	23,0 – 5,3
	Paleogeen	Oligoceen	33,9 – 23,0
		Eoceen	56,0 – 33,9
Paleoceen		66,0 – 56,0	
Mesozoïcum	Krijt		145 – 66,0
	Jura		201 – 145
	Trias		252 – 201
Paleozoïcum	Perm		299 – 252
	Carboon		359 – 299
	Devoon		419 – 359
	Siluur		443 – 419
	Ordovicium		485 – 443
	Cambrium		541 – 485
Proterozoïcum			2500 – 541
Archeïcum			4000 – 2500
Hadeïcum			4600 – 4000

Figuur 1: Vereenvoudigde geologische tijdschaal op basis van de International Chronostratigraphic Chart (2012).

De grenzen tussen de tijdperken – of era – zijn gekozen aan de hand van belangrijke geologische gebeurtenissen. Zo begint het Paleozoïcum met het ontstaan van zeer veel levensvormen aan het begin van het Cambrium. Het Mesozoïcum en het Cenozoïcum beginnen beide na het massaal uitsterven van veel levensvormen, aan het einde van respectievelijk het Perm en het Krijt.

De oudste sporen van Nederland

2

Er is geen informatie bekend over de ligging of de bodem van Nederland in de eerste 4 miljard jaar van het bestaan van de aarde. Op de oudste paleo-geografische kaart – die de situatie tegen het einde van het Proterozoïcum weergeeft, zo'n 550 miljoen jaar geleden – maakt Nederland deel uit van het microcontinent Avalonia, dat zich toen bij de Zuidpool bevond.

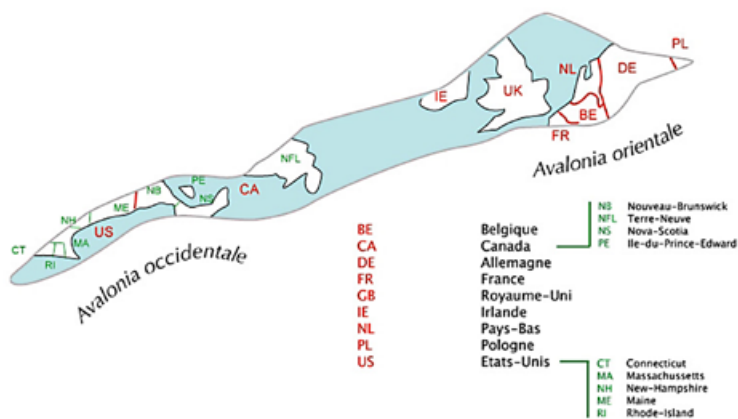
Het rood-wit-blauwe vlaggetje op de kaart hieronder geeft ruwweg de locatie van Nederland aan. Overigens gaat het daarbij om wat nu de zeer diepe ondergrond van Nederland is. Lagen van deze ouderdom liggen zelfs zó diep, dat ze in Nederland nog nooit zijn aangeboord. Dit komt vooral doordat Nederland en de aangrenzende Noordzee in de laatste 550 miljoen jaar een dalingsgebied is: de bodem daalt hier dus structureel.

Figuur 2: Situatie continenten 550 miljoen jaar geleden.



2

De landmassa van Avalonia omvatte behalve het huidige Nederland ook het zuidelijke deel van Ierland, Engeland, Wales, vrijwel geheel België, het noordwesten van Duitsland en de oostelijke delen van de Verenigde Staten en Canada.



Figuur 3: Samenstelling van het microcontinent Avalonia.

Paleozoïcum

3

Cambrium

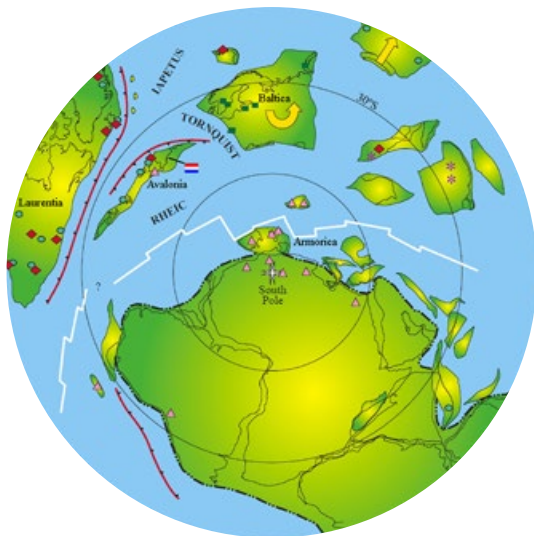
Ongeveer 540 miljoen jaar geleden begint de era van het Paleozoïcum met de periode van het Cambrium.

In het begin van het Cambrium ontstaat ongeveer de helft van alle bekende groepen van leven. Deze plotselinge ontwikkeling van soorten wordt de 'Cambrische explosie' genoemd.

Ordovicium

Vanaf ongeveer 490 miljoen jaar geleden volgt de periode van het Ordovicium. Avalonia brak aan het begin van het Ordovicium af van het grote continent Gondwana en begon naar het noorden te bewegen.

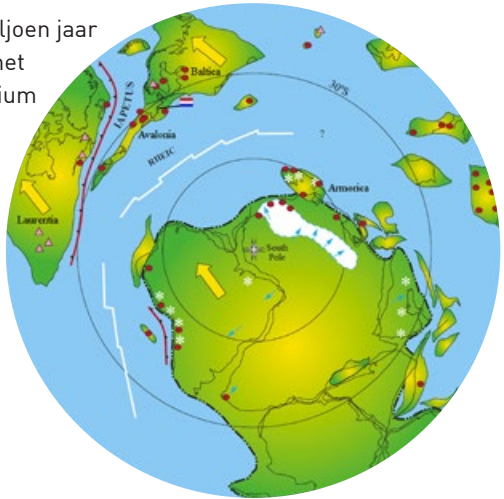
Figuur 4: Situatie continenten 460 miljoen jaar geleden (het Midden-Ordovicium).



3

Na een reis van 40 miljoen jaar botst Avalonia tegen het einde van het Ordovicium (440 miljoen jaar geleden) met het continent Baltica.

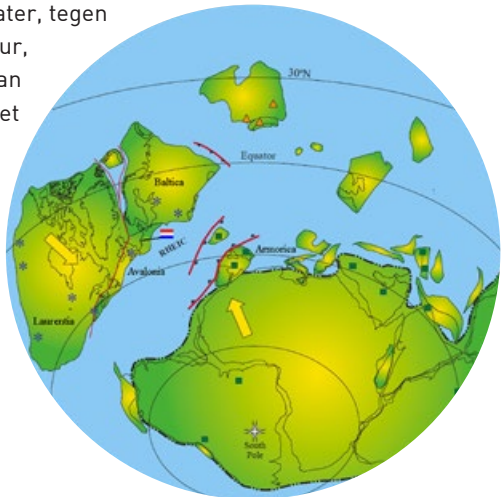
Figuur 5: De situatie van de continenten in het Laat-Ordovicium (440 miljoen jaar geleden).



Siluur

Zo'n 20 miljoen jaar later, tegen het einde van het Siluur, botst de combinatie van Avalonia en Baltica met de landmassa van Laurentia, waardoor Euramerika ontstaat.

Figuur 6: De beweging van de continenten tegen het einde van het Siluur (ongeveer 420 miljoen jaar geleden).



3

Door de botsingen van Avalonia, Baltica en Laurentia vormden zich enorme gebergten. Deze gebeurtenis staat bekend als de Caledonische orogenese. Hierbij ontstonden gebergten in de aangegeven zones van figuur 7. Zuidwestelijk van Nederland ontstond het Londen-Brabantmassief, dat als een eiland boven water uitstak (zie figuur 9).



Figuur 7: De Caledonische orogenese.

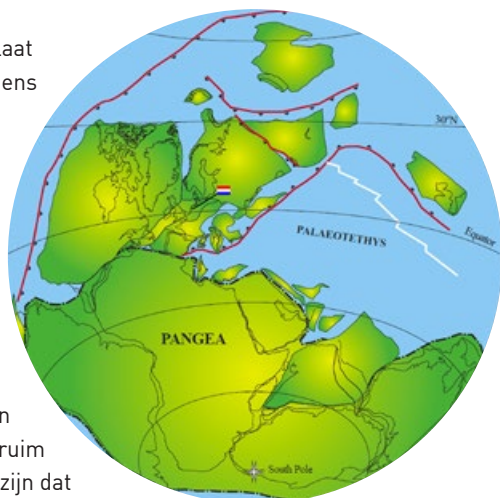
3

Carboon

In het Carboon (359 tot 299 miljoen jaar geleden) botste eerst de archipel Armorica en later ook Gondwana tegen de zuidzijde van Avalonia. Beide botsingen hadden nieuwe gebergtevorming tot gevolg, die bekend staat als de Hercynische of Variscische orogenese.

Aan de oostzijde van Euramerika sloot Siberia aan, waardoor de Oeral werd gevormd. Bijna alle landmassa's waren toen weer verbonden; dit oercontinent wordt Pangea genoemd.

De vlag op deze kaart laat zien dat Nederland tijdens het Laat-Carboon ongeveer op de evenaar lag. Deze ligging en het toen heersende klimaat maakten uitbundige plantengroei mogelijk. Afwisselend zijn in die periode dikke veenpakketten en kleilagen afgezet. Nu, ruim 300 miljoen jaar later, zijn dat respectievelijk lagen steenkool van samen ca. 100 meter dik geworden, en vele honderden meters dikke lagen geharde, geconsolideerde klei ofwel: schalie.



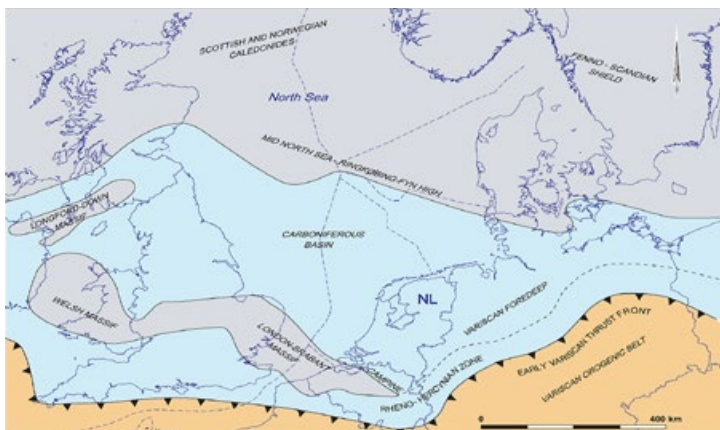
Figuur 8: De vorming van Pangea, zo'n 310 miljoen jaar geleden.

3

De steenkool ontstond via bruinkool uit het oorspronkelijke veen door samendrukking en inkling (door toename van druk en temperatuur). Dit proces – ook wel carbonisatie of carbonificatie genoemd – is de omzetting van organisch materiaal naar pure koolstof. Hierbij ontwijkt aardgas naar bovenliggende (jongere) lagen.

In Noord-Nederland wordt dit aardgas gewonnen, maar de steenkool waaruit het aardgas is voortgekomen, ligt hier te diep voor winning. In Limburg bevindt de steenkool zich op sommige plaatsen wel op winbare diepte.

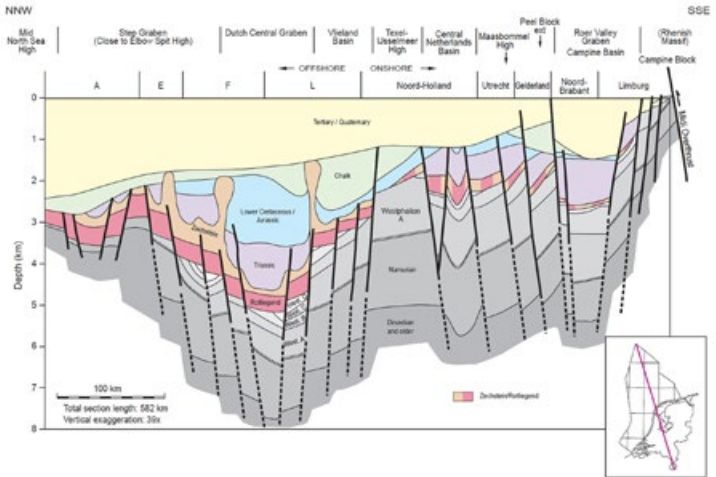
Het Laat-Carboon wordt in Nederland ook wel het Silesien genoemd. Figuur 9 geeft de situatie van deze tijd weer, met noordelijk van Nederland de Caledonische plooiing en zuidelijk van Nederland de Variscische plooiing.



18 Figuur 9: De situatie in de omgeving van Nederland tijdens het Silesien.

3

De afzettingen van het Silesien zijn onder 95% van de oppervlakte van Nederland aanwezig en hebben een dikte van maximaal 5,5 kilometer. Dit betekent dat de dikte van de lagen uit het Silesien alléén meestal groter is dan alle erboven liggende afzettingen samen. Dit blijkt uit de doorsnede in figuur 10, waarin het Westfalien en het Namurien samen het Silesien vormen. Het Dinantien eronder is een tijdvak in het Vroeg-Carboon.



Figuur 10: Doorsnede van Nederland en het bijbehorende deel van de Noordzee.

Perm

Na het Carboon volgt de periode van het Perm: 299 tot 252 miljoen jaar geleden. Op de overgang van het Perm naar het Trias vond de grootste massa-extinctie uit de geschiedenis van onze aarde plaats. Ongeveer 95% van alle zeedieren en ongeveer 70% van alle gewervelde landdieren stierf uit. Hiermee eindigde ook de era van het Paleozoïcum en begon het Mesozoïcum.

Mesozoïcum

4

Trias en Jura

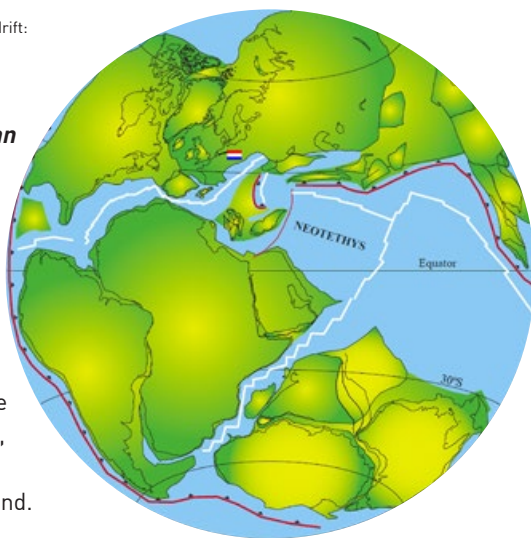
Ongeveer 250 miljoen jaar geleden begon het Mesozoïcum met de periode van het Trias, gevolgd door de periode van het Jura (201 tot 145 miljoen jaar geleden).

In het Laat-Jura ligt Nederland inmiddels boven de 30ste breedtegraad, waar tegenwoordig de Canarische Eilanden liggen. Pangea is eerst uiteengevallen in het noordelijke Laurazië en het zuidelijke Gondwana. Daarna is Gondwana uiteengevallen door een rift tussen Afrika en Zuid-Amerika enerzijds en tussen Australië, Antarctica, Madagaskar en India anderzijds.

Figuur 11: De continenten op drift: 150 miljoen jaar geleden.

Nederlandse vulkaan

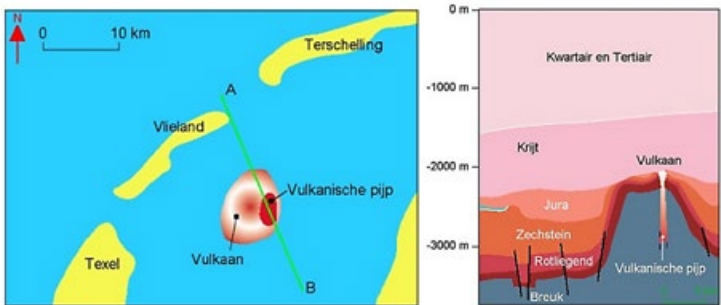
In het Jura ontstond ook de enige bekende vulkaan van ons land. Deze zogeheten Zuidwalvulkaan werd in 1970 ontdekt op een diepte van ruim 2 kilometer, bij een gasboring ten zuidoosten van Vlieland.



4

De vulkaan ontstond ongeveer 160 miljoen jaar geleden en was ongeveer 12 miljoen jaar actief. Inmiddels is hij bedekt met ruim 2 kilometer lagen uit het Krijt, het Paleogeen, het Neogeen en het Kwartair.

De temperatuur bij de 1 kilometer hoge vulkaan is nog steeds 30° Celsius hoger dan normaal op die diepte.



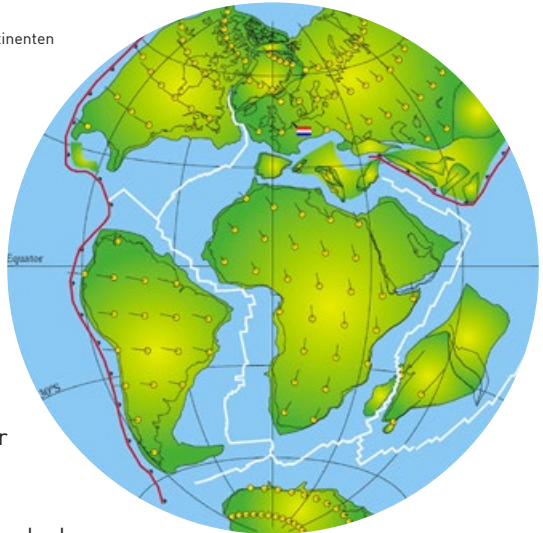
Figuur 12: Ligging en doorsnede van de Zuidwalvulkaan.

Krijt

Aan het einde van het Krijt (66 miljoen jaar geleden) zijn Zuid-Amerika en Afrika uiteengedreven. India ligt dan nog meteen oostelijk van Madagaskar. De Noord-Atlantische rift begint te ontstaan, aanvankelijk tussen de oostkust van Noord-Amerika en Groenland. Nederland lag tijdens het Krijt ongeveer ter hoogte van de huidige Middellandse Zee.

Figuur 13: Situatie van de continenten 80 miljoen jaar geleden.

Het Krijt eindigt 66 miljoen jaar geleden met weer een massaal uitsterven van leven op aarde. Zo'n 70% van de soorten verdwijnt, waaronder de dinosauriërs, en vele soorten planten en ongewervelden, zoals de ammonieten. Hiermee eindigt ook de era van het Mesozoïcum.



Algemeen wordt aangenomen dat de inslag van een grote asteroïde in Yucatan de belangrijkste oorzaak van het uitsterven is. Er vonden toen echter ook andere processen plaats, die het leven zeer moeilijk moeten hebben gemaakt, zoals grootschalig vulkanisme.

Een voorbeeld daarvan was het ontstaan van de Deccan Traps in India, een gebied met basalt-uitvloeiingen van ruim 500.000 km². Het totale volume hiervan wordt geschat op 2 tot 3 miljoen km³. De gassen die door dit vloeibare gesteente zijn uitgestoten zouden een oorzaak kunnen zijn geweest van de massa-uitsterving.

Cenozoïcum

5

Paleogeen

Ongeveer 65 miljoen jaar geleden begint de era Cenozoïcum met de periode van het Paleogeen, die tot 23 miljoen jaar geleden duurde. Het Paleogeen wordt onderverdeeld in de tijdvakken Paleoceen, Eoceen en Oligoceen.

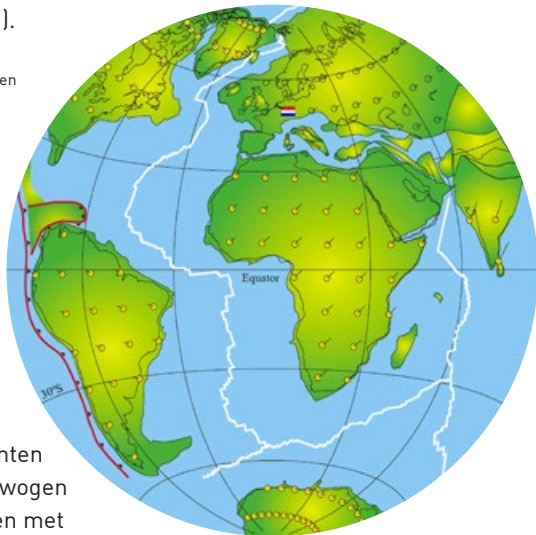
Neogeen

Aansluitend op het Paleogeen volgt de periode van het Neogeen. Samen werden deze twee perioden vroeger ook wel het Tertiair genoemd. Het eerste tijdvak van het Neogeen is het Mioceen. Het materiaal uit deze periode bevindt zich op diepten die we tegenwoordig kunnen sonderen. Het tweede tijdvak van het Neogeen is het Plioceen (5,3 tot 2,6 miljoen jaar geleden).

Figuur 14: De situatie 20 miljoen jaar geleden, in het Vroeg-Mioceen.

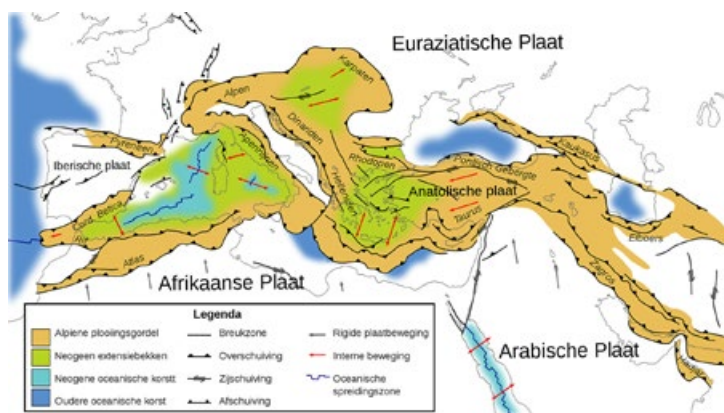
Bergvorming

Ook in het Cenozoïcum vond weer belangrijke gebergtevorming plaats, doordat Afrika, India en een aantal microcontinenten naar het noorden bewogen en in botsing kwamen met Eurazië.



5

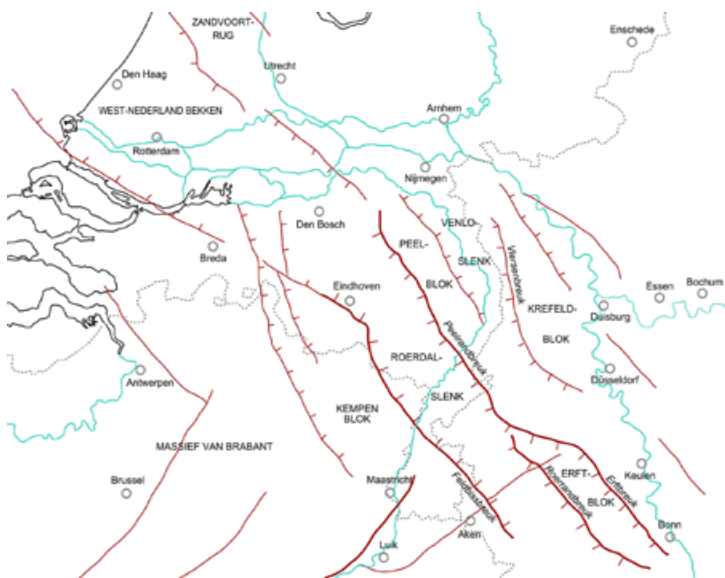
Hierdoor ontstonden in Europa onder andere de Pyreneeën, de Alpen, de Karpaten en meer oostelijk de Taurus en de Kaukasus. Deze gebergtevorming loopt verder oostelijk door en eindigt met de Himalaya. De gehele gebergtevorming staat bekend als de Alpiene orogenese en duurt eigenlijk nog steeds voort.



Figuur 15: Alpiene structuren in het Middellandse Zeegebied en het Midden-Oosten.

5

Mede door de Alpiene orogenese ontstond in Nederland de Roerdal-slenk, die een lengte van ongeveer 150 km en een breedte van ongeveer 25 km heeft. Het is een actieve tektonische structuur.

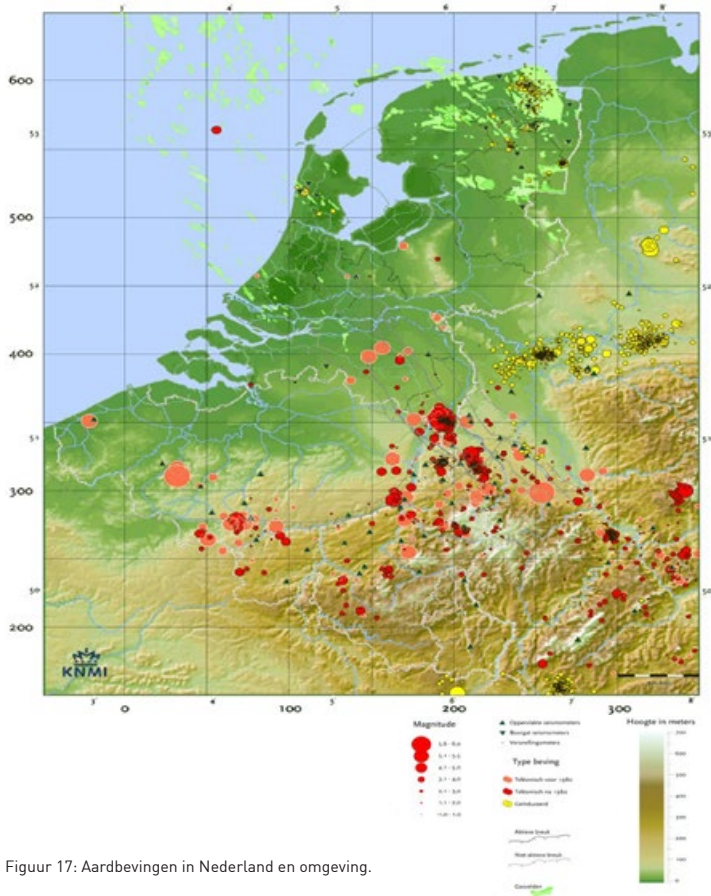


Figuur 16: Breukensysteem rondom de Roerdal-slenk.

5

Aardbevingen

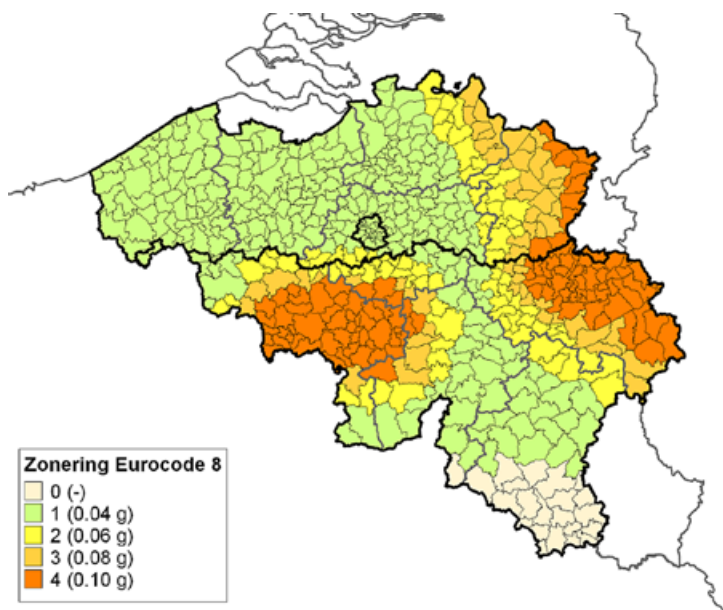
Langs de breuken van de Roerdal-slenk kunnen lichte tot middel-zware aardbevingen optreden, zoals uit onderstaande kaart blijkt.



Figuur 17: Aardbevingen in Nederland en omgeving.

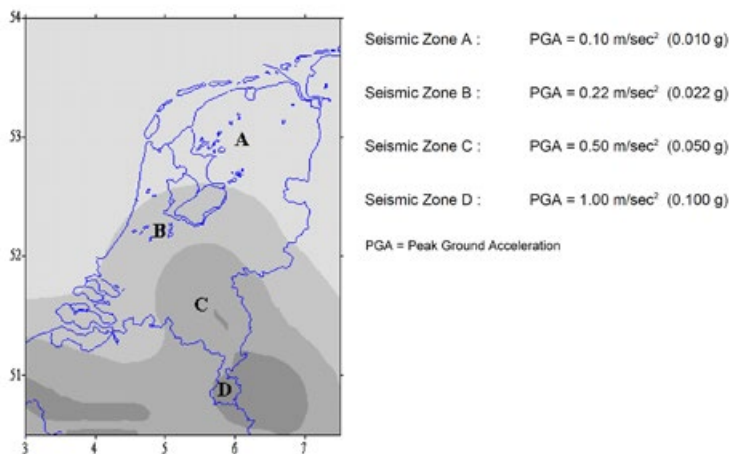
5

Westelijk en oostelijk van Limburg houden België en Duitsland bij het ontwerpen van bouwwerken rekening met versnellingen van maximaal 0,1 g als gevolg van aardbevingen. Onderstaand de zonering, die België hiervoor hanteert in Eurocode 8.



Figuur 18: De seismische zonering in België.

In Eurocode 8 is tot nu toe geen seismische zonering voor Nederland opgenomen, maar het risicogebied eindigt niet bij de Nederlandse grens. Op basis van het voorstel van De Crook (1996), ligt voor de hand dat ook in Nederland in de toekomst rekening zal worden gehouden met aardbevingen bij het ontwerpen van bouwwerken.



Figuur 19: Aanbevolen zonerings voor Nederland.

Recentelijk is bekend geworden dat in het noordoosten van Groningen – als gevolg van opschaling van de aardgaswinning – rekening moet worden gehouden met zwaardere geïnduceerde aardbevingen dan voorheen. Dit zal ook gevolgen hebben voor het ontwerpen van bouwwerken.

Ontstaan Noordzeebekken

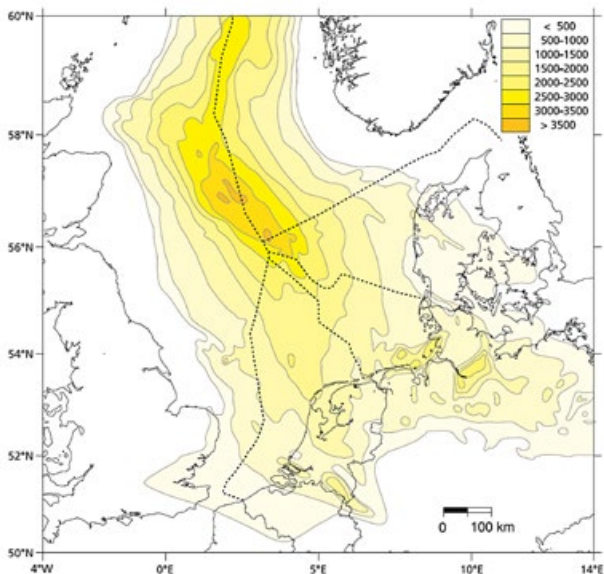
Aan het begin van het Cenozoïcum – dus vanaf 66 miljoen jaar geleden – drijft het Noord-Amerikaanse continent met Groenland steeds verder weg van Eurazië.

5

Hierdoor wordt de Euraziatische Plaat in een rekregime gebracht. Deze krachten en de Alpiene orogenese veroorzaken samen het ontstaan van het Noordzeebekken. Hierin zijn sedimenten tot een maximale dikte van meer dan 3.500 meter afgezet. Nederland ligt in het uiterste zuiden van dit bekken.

Het doorgaand dalende karakter van het Noordzeebekken veroorzaakt opvulling met sedimenten zoals zand en klei van aangrenzende hoger gelegen gebieden. Het transportmiddel is vooral water. Rotsen komen in Nederland alleen langs de rand van het Noordzeebekken voor: langs de grens met Duitsland en in Limburg.

Figuur 20: De omvang van het Noordzeebekken met de dikte van de Cenozoïsche sedimenten.

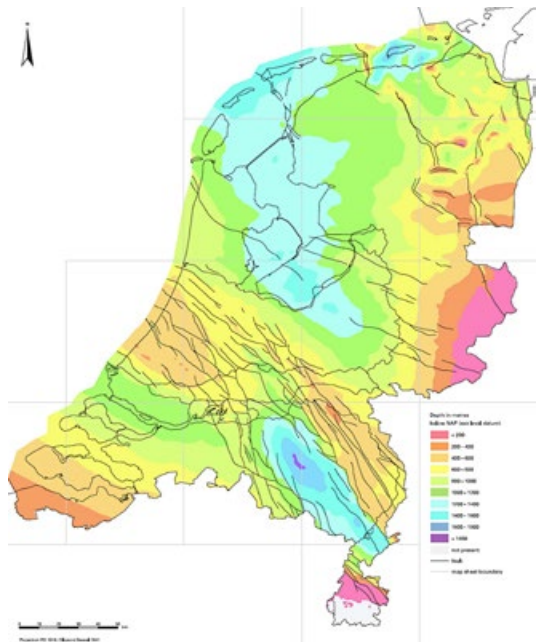


5

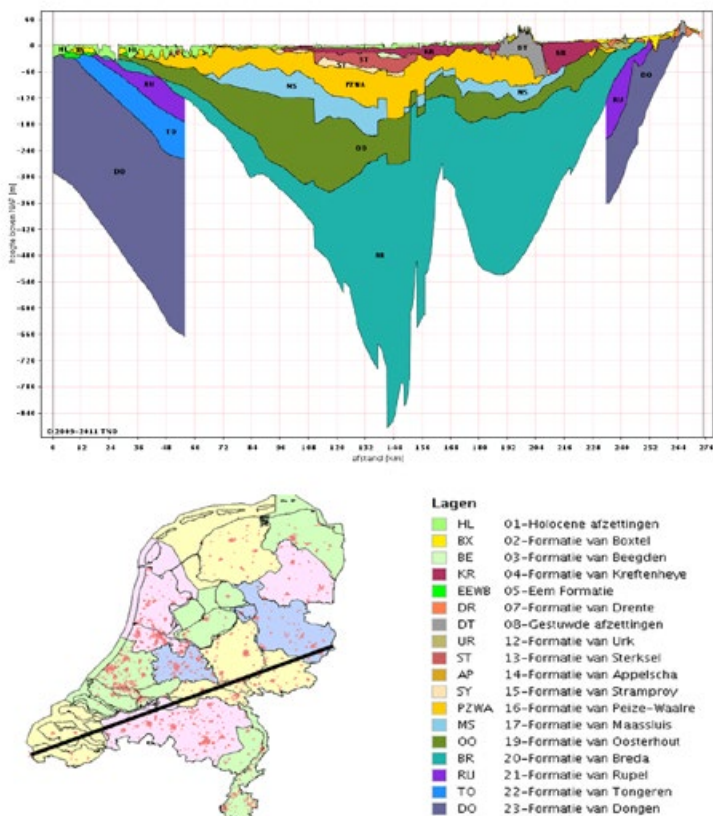
Noordzee Supergroep

Alle sedimenten die tijdens het Cenozoïcum in Nederland zijn afgezet, worden samen de Noordzee Supergroep genoemd. Deze sedimenten zijn het dikst in de Roerdal-slenk (meer dan 1.800 m) en in het midden en noordwesten van Nederland. Langs de oostgrens en in het zuiden van Limburg zijn deze sedimenten minder dan 200 meter dik.

Uit figuur 20 blijkt duidelijk dat Nederland eigenlijk deel is van het Noordzeebekken. De Formaties van Dongen, Rupel en Breda zijn afzettingen, die zowel in het zuidwesten van Zeeland als in het oosten van Overijssel dicht onder het aardoppervlak liggen.



Figuur 21: Diepte basis Noordzee Supergroep.



Figuur 22: Doorsnede Noordzee Supergroep van Zeeland tot Overijssel.

De Noordzee Supergroep omvat het gehele Cenozoïcum (van het Paleogeen tot en met het Kwartair) en kent een verdere onderverdeling in groepen en formaties.

GROEP	FORMATIES	PERIODE	TIJDVAK	OUDERDOM IN MILJOEN JAAR
Boven Noordzeegroep	Veel	Kwartair	Holoceen	0 – 0,012
			Pleistoceen	2,6 – 0,012
	Oosterhout Breda	Neogeen	Pliocene	5,3 – 2,6
			Mioceen	23,0 – 5,3
Midden Noordzeegroep	Veldhoven Rupel Tongeren	Paleogeen	Oligoceen	33,9 – 23,0
			Eoceen	56,0 – 33,9
Onder Noordzeegroep	Dongen Landen		Paleoceen	66,0 – 56,0

Figuur 23: Onderverdeling van de Noordzee Supergroep met belangrijkste formaties.

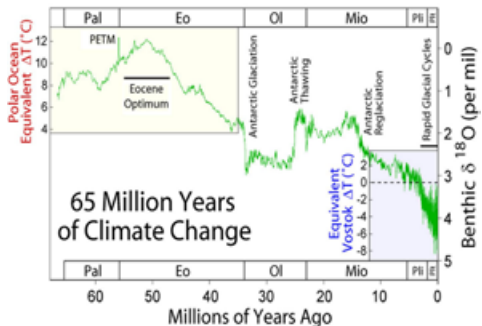
Vooraf tijdens het Paleogeen stond de zeespiegel bijzonder hoog, waardoor Nederland diep onder water kwam te liggen. In mindere mate geldt dit ook voor het Neogeen.

Alle zeven formaties uit deze perioden bestaan dan ook uit mariene afzettingen. De Formaties van Landen, Dongen en Rupel bestaan hoofdzakelijk uit klei. De overige vier (Tongeren, Veldhoven, Breda en Oosterhout) bestaan ook uit zand.

CO₂, temperatuur en zeespiegel

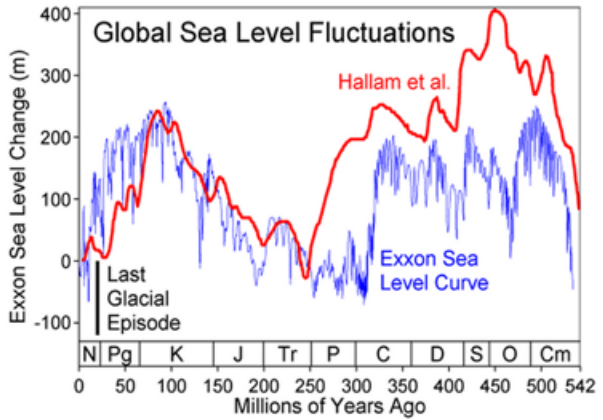
De gemiddelde temperatuur op aarde varieerde gedurende het Cenozoïcum sterk.

Figuur 24: Temperatuurverloop op aarde over de laatste 65 miljoen jaar.

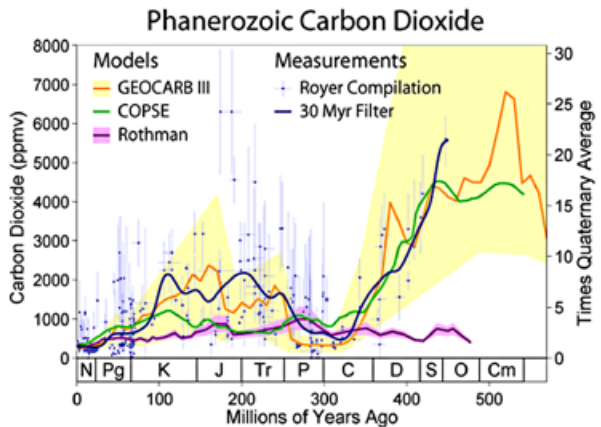


De zeespiegel en het CO₂-gehalte in de atmosfeer vertoonden in dezelfde periode een soortgelijk patroon.

Figuur 25a:
Variatie in de
zeespiegel
tijdens de
laatste 542
miljoen jaar.



Figuur 25b:
Variatie in het
CO₂-gehalte
in de lucht
tijdens de
laatste 550
miljoen jaar.



5

Tijdens het warme Eoceen waren de polen niet bedekt met ijs en stond de zeespiegel ongeveer 200 meter hoger dan nu.

Een extra warme periode binnen het Eoceen wordt het 'Middle Eocene Climatic Optimum' genoemd, afgekort: MECO. Uit deze periode, die zo'n 400.000 jaar duurde, zijn fossielen van palmbomen gevonden in Alaska en het noorden van Canada.

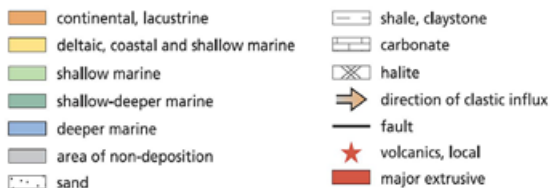
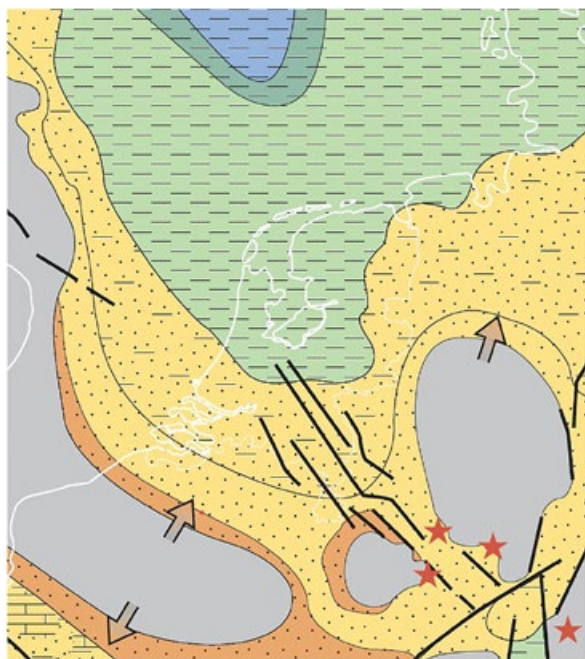
De mens bestond nog niet, maar toch was het CO₂-gehalte van de atmosfeer volgens recent onderzoek zeer hoog. Het pCO₂-gehalte steeg van 600 tot 1.600 ppm (parts per million) vlak vóór het MECO naar waarden van 6.400 tot 15.000 ppm tijdens het MECO. Weliswaar zijn dit relatieve waarden, echter de stijgingen zijn enorm ten opzichte van het huidige absolute CO₂-gehalte van de atmosfeer van 400 ppm.

Tegelijk met de stijging van het pCO₂-gehalte steeg de oppervlaktetemperatuur van het zeewater van het zuidoostelijke deel van de Grote Oceaan met 3 à 6° Celsius.

Oudste sondeerbare materiaal: Boomse klei

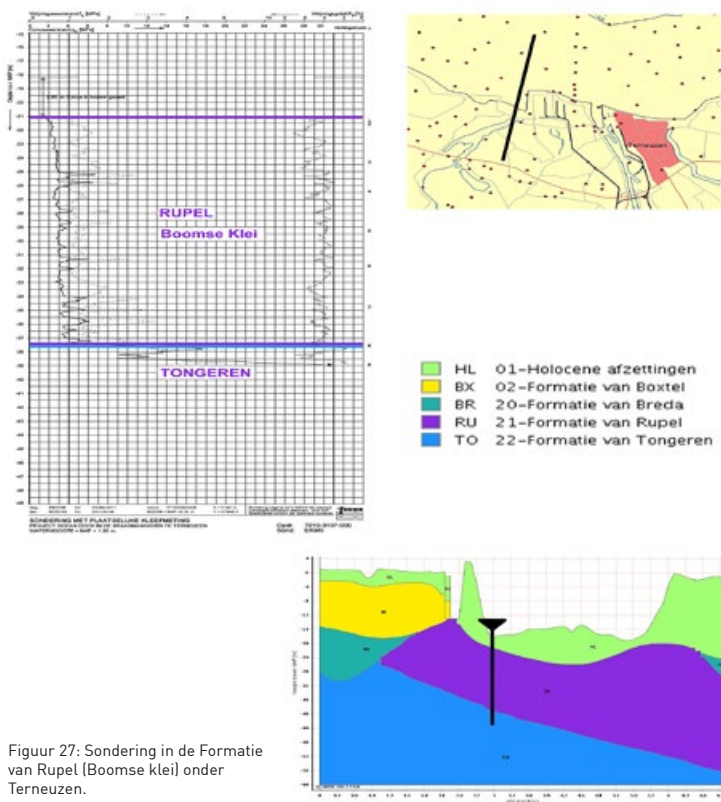
Het oudste bodemmateriaal waarin sonderingen zijn uitgevoerd is de Formatie van Rupel, die zowel in het zuidwesten als in het oosten van Nederland dicht aan het aardoppervlak ligt. Deze formatie stamt uit het Midden-Oligoceen en is dus ongeveer 25 tot 30 miljoen jaar oud.

Het bekendste bodemmateriaal uit deze periode staat in de geotechniek bekend als de 'Boomse klei'. De geologische benaming is het Laagpakket van Boom.

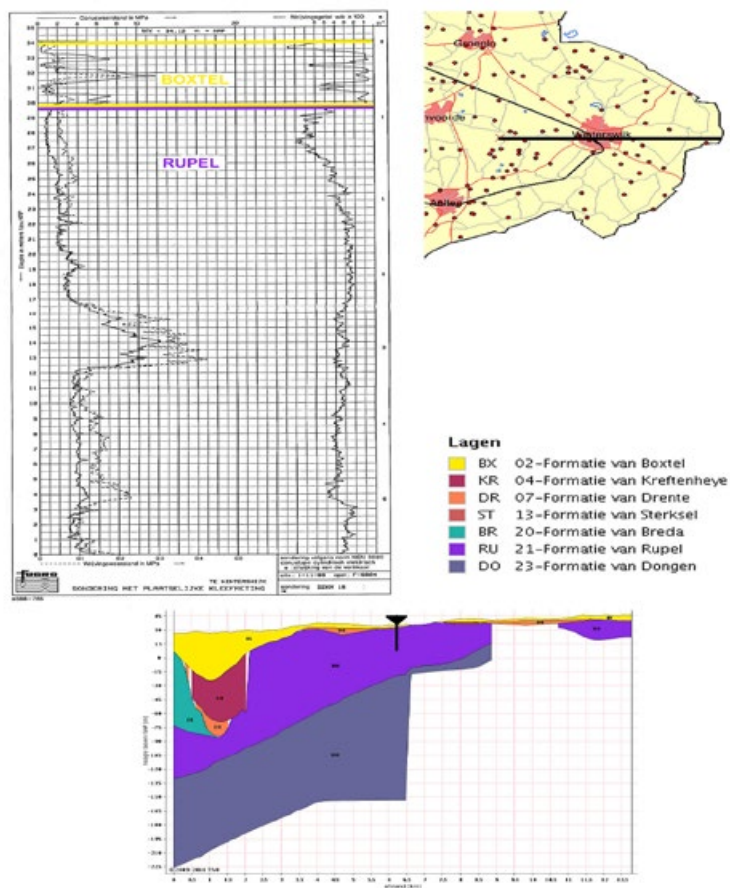


Figuur 26: De Boomse klei komt zowel in het zuiden als in het oosten van Nederland nabij het oppervlak voor.

Figuren 27 en 28 vertonen sonderingen in dit materiaal met bijbehorend bodemprofiel. De sondeerlocaties liggen ver uit elkaar: Terneuzen en Winterswijk. Kenmerkend voor de Boomse klei is de combinatie van een relatief hoge conusweerstand met een hoge wrijvingsweerstand.



Figuur 27: Sondering in de Formatie van Rupel (Boomse klei) onder Terneuzen.



Figuur 28: Sondering in de Formatie van Rupel (Boomse klei) onder Winterswijk.

5

Formatie van Breda

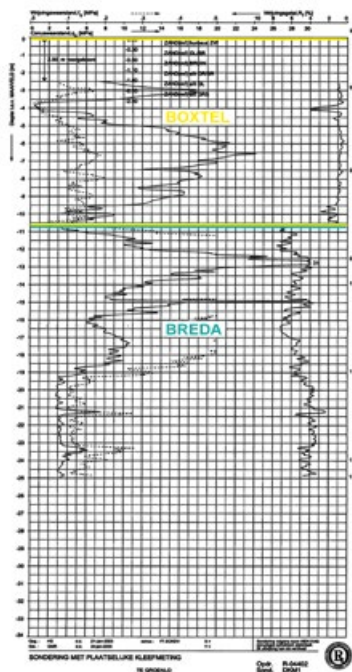
Iets meer naar het noordwesten, in Groenlo, zijn sonderingen uitgevoerd in de Formatie van Breda. In figuur 29 is een sondering in dit materiaal weergegeven met het bijbehorende bodemprofiel en de sondeerlocatie.

De bovenste 10 meter van de bodem bestaat hier uit 'normaal' zand van de Formatie van Bortel (Pleistoceen) en vertoont een gebruikelijk wrijvingsgetal van ongeveer 1. Het daaronder gelegen zand van de Formatie van Breda bevat het mineraal glauconiet, dat groen van kleur is. Dit zand wordt daarom ook wel groenzand genoemd.

Het gehalte aan glauconiet kan tot 50% bedragen. Glauconiet wordt gevormd in ondiepe zeeën. Kenmerkend voor glauconietzand is het hoge wrijvingsgetal, dat in figuur 29 varieert tussen 4 en 6.

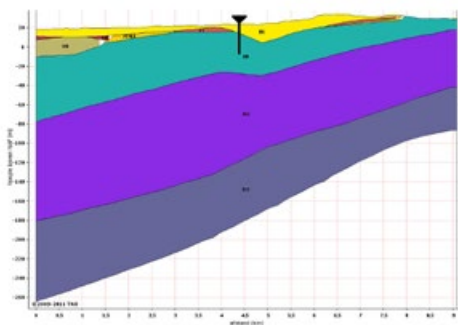
Glauconiet is een kleimineraal en heeft op de hardheidsschaal van Mohs een relatief lage hardheid van 2. Het mineraal 'kwarts' vormt het hoofdbestanddeel van zand en heeft een hardheid van 7. Glauconiet-houdend zand heeft hierdoor eigenschappen die afwijken van 'gewoon' zand.

Bij het heien van palen en bij mechanische belasting treedt verbrijzeling van de glauconietkorrels op, waardoor het gehalte aan fijne deeltjes toeneemt en het materiaal steeds meer een kleikarakter krijgt.



Lagen

- | | |
|--|------------------------------|
| BX | 02-Formatie van Bostel |
| KR | 04-Formatie van Kreftenheye |
| UR | 12-Formatie van Urk |
| ST | 13-Formatie van Sterksel |
| PZWA | 16-Formatie van Peize-Waalre |
| BR | 20-Formatie van Breda |
| RU | 21-Formatie van Rupel |
| DO | 23-Formatie van Dongen |



39 Figuur 29: Sondering in de Formatie van Breda onder Groenlo.

5

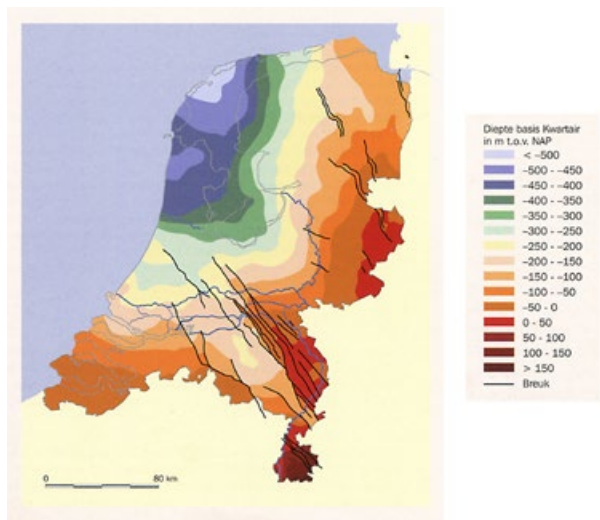
Kwartair

De laatste periode van het Cenozoïcum, het Kwartair, begon 2,6 miljoen jaar geleden. Het wordt onderverdeeld in de tijdvakken Pleistoceen (2,6 miljoen jaar tot 12.000 jaar geleden) en Holoceen. Het Holoceen bestrijkt dus de laatste 12.000 jaar van het Kwartair en loopt tot de dag van vandaag.

In het noordwesten van Nederland ligt de onderkant van de kwartaire afzettingen het diepst.

Verreweg de meeste sonderingen worden dus uitgevoerd in kwartaire afzettingen. Alleen in het oosten en het zuiden van Nederland liggen oudere afzettingen dichtbij het oppervlak.

Figuur 30:
Diepteligging
van de onder-
kant van de
kwartaire
afzettingen.



Pleistoceen

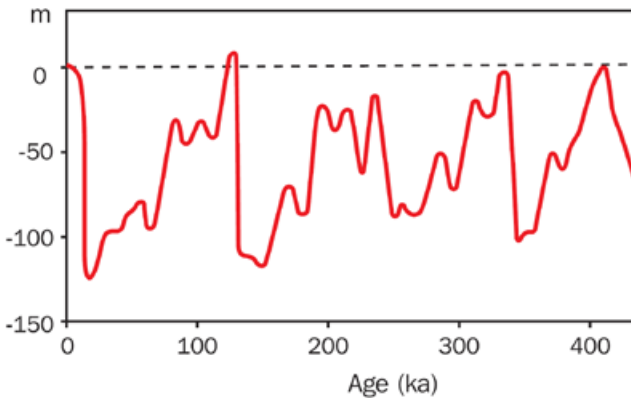
Het Pleistoceen wordt gekenmerkt door afwisselende koude en gematigd warme perioden.

Figuur 31: Indeling van het Kwartair in subseries en etages. Koude perioden zijn blauw weergegeven, warme zijn oranje.

Indeling van het Pleistoceen					
Internationaal			Noordwest Europa		
Serie	Sub-serie	Etage	Super-etage	Etage	Tijd (Ma)
Holoceen					jonger
Pleistoceen	Laat	Tarantien	(onbenoemd)	Weichselien	0,0115 - 0,116
				Eemien	0,116 - 0,128
	Midden	Ionien		Saalien	0,128 - 0,238
				Oostermeer	0,238 - 0,243
				(onbenoemd)	0,243 - 0,324
				Belvédère	0,324 - 0,338
				(onbenoemd)	0,338 - 0,386
				Holsteinien	0,386 - 0,418
				Elsterien	0,418 - 0,465
				Vroeg	Calabrien
	Bavelien	diverse etages	0,85 - 1,07		
	Menapien	diverse etages			
	Waalien	diverse etages			
	Eburonien	diverse etages			
	Gelasien	Tiglien	diverse etages		1,80 - 2,40
Pretiglien		diverse etages	2,40 - 2,588		

5

De afwisseling van koude en gematigd warme perioden had ook gevolgen voor het niveau van de zeespiegel. Uit deze grafiek blijkt dat de zeespiegel sinds het begin van het Holoceen ongeveer 125 meter is gestegen. Tijdens de voorlaatste warmere periode, het Eemien (ongeveer 120.000 jaar geleden), stond de zeespiegel nog iets hoger. De fluctuaties van de zeespiegel komen overeen met de koude en gematigd warme perioden in de tabel van figuur 31.



Figuur 32: Zeespiegelvariatie over de laatste 450.000 jaar ten opzichte van huidige zeespiegelniveau. 0 = heden.

5

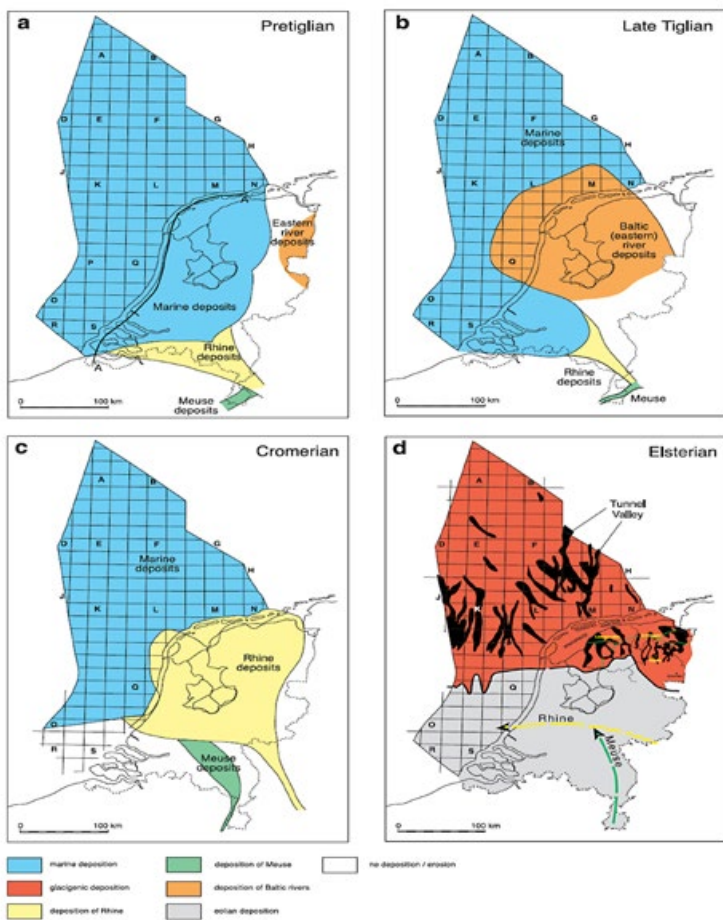
De figuren 33 en 34 geven enkele paleo-geografische kaarten weer, waaruit blijkt welk type afzetting per periode in Nederland werd gedeponeed.

Er worden vier typen afzettingen onderscheiden:

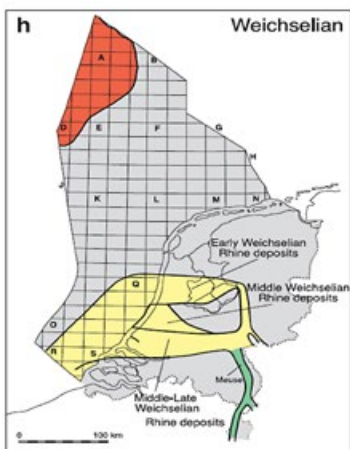
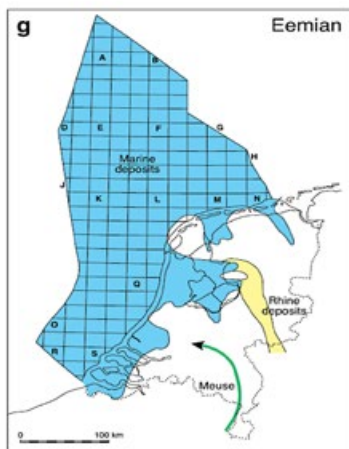
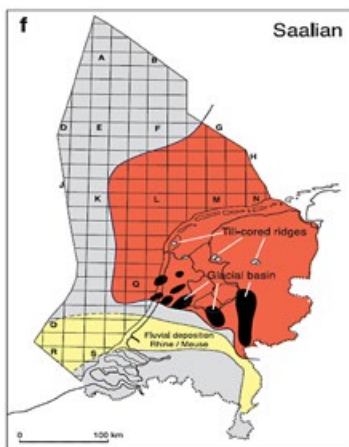
- Glaciale afzettingen door gletsjers in koude perioden: potklei, keileem, stuwwallen.
- Fluviaatiele afzettingen door rivieren.
- Mariene afzettingen door de zee.
- Overige afzettingen, zoals veen, eolische afzettingen (door de wind; bijvoorbeeld löss) en fluvioperiglaciale afzettingen (smeltwater).

De geotechnische eigenschappen van sedimenten worden vooral bepaald door het materiaal waaruit ze zijn opgebouwd en door de wijze van afzetten. Zand bestaat grotendeels uit het harde mineraal kwarts. Kleimineralen zijn veel zachter.

Een eolische afzetting zoals duinzand heeft een 'los' karakter, terwijl een glaciaal zand zeer vast gepakt kan zijn. Mariene afzettingen kunnen vrij homogeen van karakter zijn, terwijl gestuwde glaciale afzettingen op korte afstand grote verschillen in vastheid kunnen vertonen. Meanderende rivieren kunnen zowel grove zanden afzetten als klei, afhankelijk van de stroomsnelheid in de stroombaan.



Figuren 33 en 34: Paleo-geografische kaarten van enkele pleistocene perioden: de super-etages Pretiglian, Tiglien en Cromerian, en de etages Elsterian, Holsteinien, Saalien, Eemien en Weichselien.



5

De afzettingen van de koude perioden – de ‘ijstijden’ – Elsterien, Saalien en Weichselien en de warmere perioden Eemien en Holoceen bedekken het grootste deel van Nederland. Waarschijnlijk ontlenen de meeste funderingen in Nederland hun draagkracht aan de zandafzettingen uit het Weichselien, de laatste koude periode.

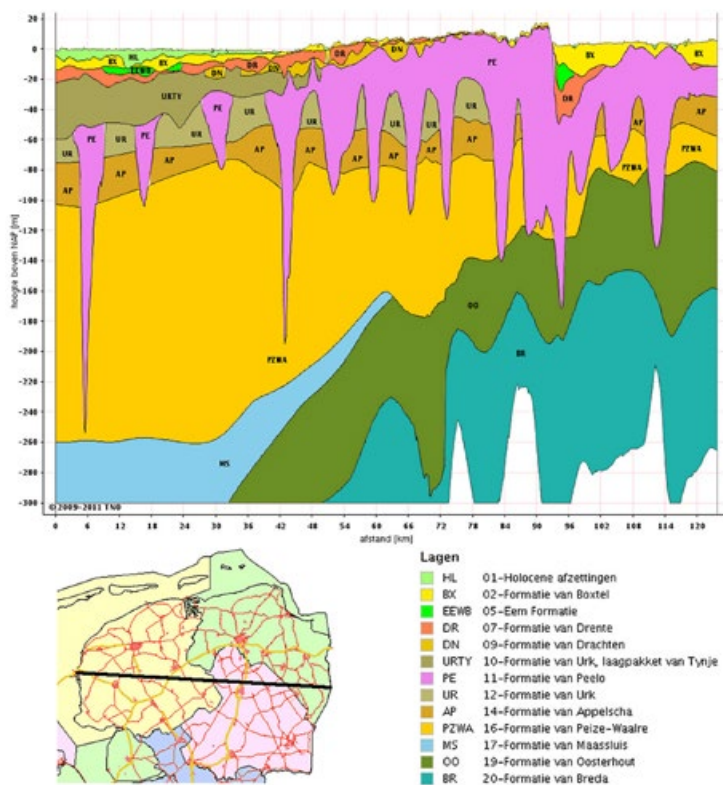
Pleistocene afzettingen en sonderingen

In dit hoofdstuk wordt geprobeerd verband aan te brengen tussen sonderingen en de afzettingen uit deze vier pleistocene perioden: Elsterien, Saalien, Eemien en Holoceen.

Landijs

Tijdens het Elsterien – een ijstijd van 465.000 tot 418.000 jaar geleden – was het noordelijke deel van Nederland bedekt met landijs, zoals is te zien op kaartje d in figuur 33. De afzettingen uit deze periode worden gerekend tot de Formatie van Peelo.

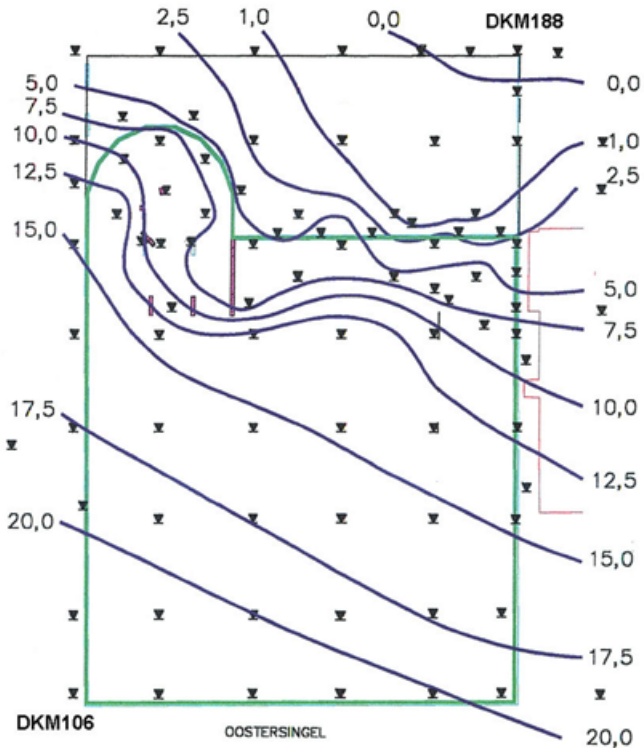
In Groningen, Friesland en Drenthe is toen klei afgezet in tunneldalen; dit wordt het Laagpakket van Nieuwolda genoemd. Deze zeer zware klei is bekend als ‘potklei’ en bevat hoge tot zeer hoge percentages aan lutum: gronddeeltjes, die kleiner zijn dan 2 µm. De tunneldalen zijn zeer steil ingesneden in de ondergrond.

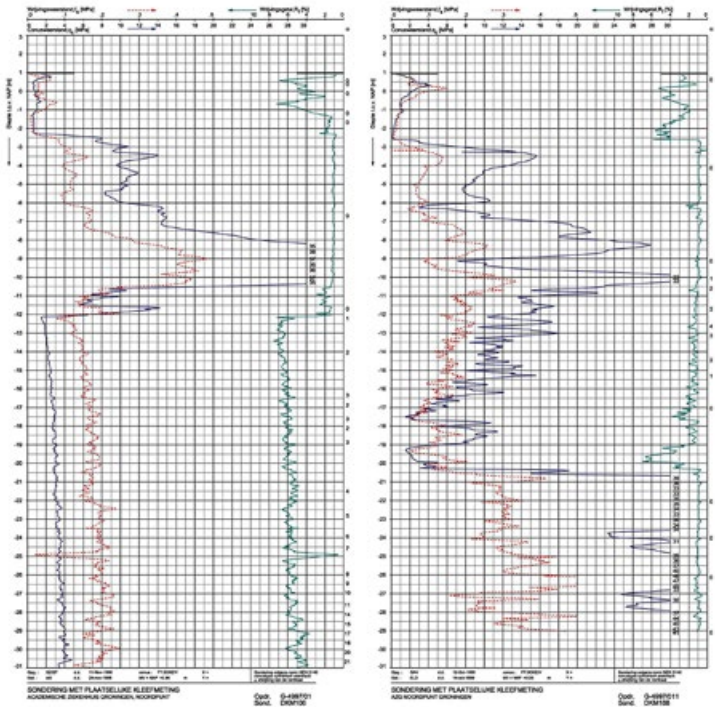


Figuur 35: Doorsnede met het verloop van de Formatie van Peelo.

5

In Groningen bleek uit de resultaten van het grondonderzoek voor de bouw van een ziekenhuis dat de dikte van de potklei over korte afstand zeer sterk varieert.





Figuur 37: De sondeergrafieken DKM106 en DKM188 van figuur 36.

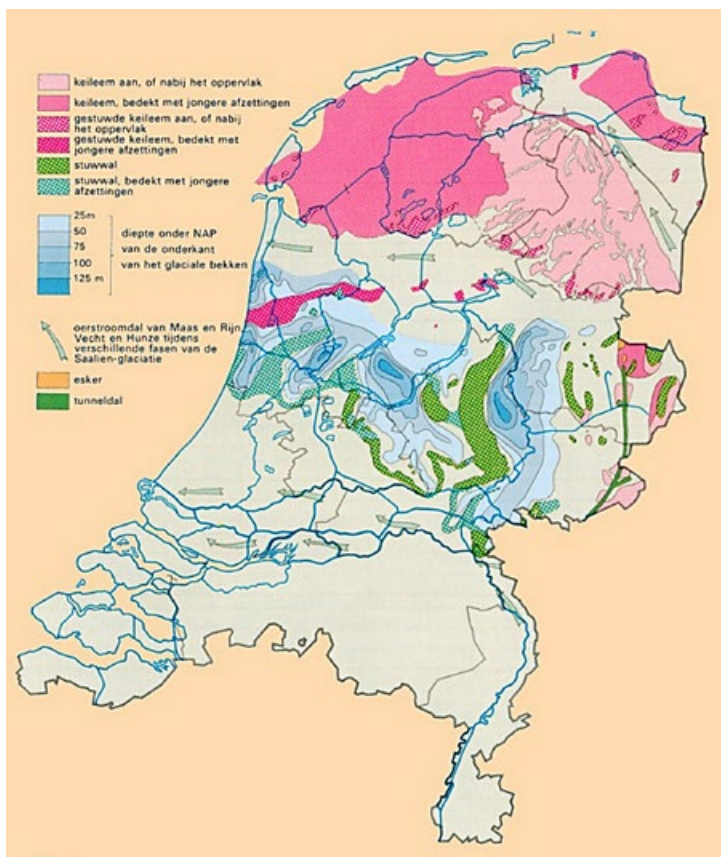
Tijdens het Saalien – de voorlaatste ijstijd, 238.000 tot 128.000 jaar geleden – was de noordelijke helft van Nederland bedekt met landijs (zie kaartje f van figuur 34).

5

De gletsjers hebben ongeveer de lijn Haarlem – Nijmegen bereikt. Op deze lijn zijn onder de gletsjertongen glaciale bekkens ontstaan. Tussen de gletsjertongen ontstonden stuwwallen. Figuur 38 geeft de belangrijkste gevolgen van de ijsbedekking weer.

De afzettingen uit het Saalien worden gerekend tot de Formatie van Drente. Het bekendste materiaal van deze formatie is de zogeheten keileem, die in de vorm van opgedrukte bulten aan de oppervlakte komt op Wieringen, Texel, in het Gaasterland, de Havelterberg en de heuvels bij Onstwedde en Sellingen.

Keileem is het materiaal dat onder een gletsjer wordt afgezet (grondmorenen) en bestaat uit een ongesorteerd mengsel van klei, leem, zand en grotere keien. Deze materialen zijn meegevoerd in de onderste lagen van de gletsjer en zijn blijven liggen nadat het ijs gesmolten was. Keileem is taai en slecht waterdoorlatend. Daarom wordt het gebruikt voor dijkenbouw, zoals voor de Afsluitdijk.



Figuur 38: Stuwwallen en glaciale bekens uit het Saalien.

5

Overconsolidatie

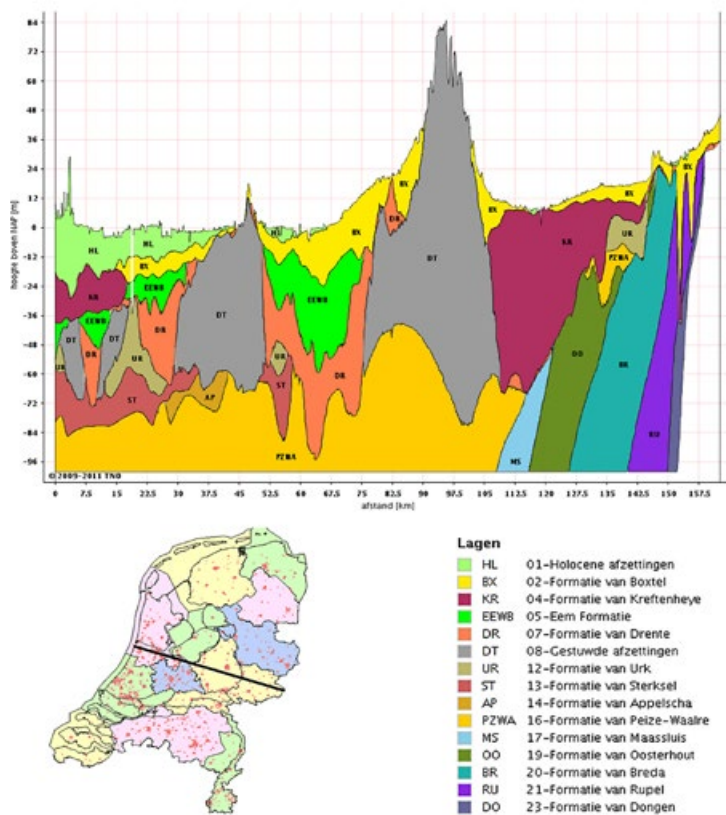
Diverse Nederlandse grondsoorten zijn overgeconsolideerd. Bij zanden kenmerkt overconsolidatie zich door een horizontale opspanning, die tot driemaal de verticale korrelspanning kan bedragen.

De oorzaak van de opspanning is een – inmiddels weer verdwenen – bovenbelasting. In het noorden van Nederland bestond die meestal uit een ijsbedekking (gletsjers); in het zuiden van Nederland kwam dit door een voorheen veel lagere grondwaterstand. De horizontale opspanning kan verloren gaan door trillingen bij het heien van palen.

Bij klei kenmerkt overconsolidatie zich vooral door een hogere grensspanning. De samendrukkingsconstanten zijn meestal niet verhoogd. Naarmate grondsoorten langer geleden zijn afgezet, speelt 'aging' een rol: verkitting van de korrels en een lager poriën- en watergehalte.

Chaos in de ondergrond

De gletsjers hebben in het midden van Nederland een flinke chaos veroorzaakt in de ondergrond. De gletsjertongen lagen op de plek van de afzettingen van de Formaties van Drente (DR), Eem (EEWB) en Kreftenheye (KR). De stuwwallen tussen de gletsjertongen zijn in figuur 39 zichtbaar als gestuwde afzettingen (grijs, code DT).



Figuur 39: Chaos in de ondergrond: doorsnede Haarlem – Winterswijk.

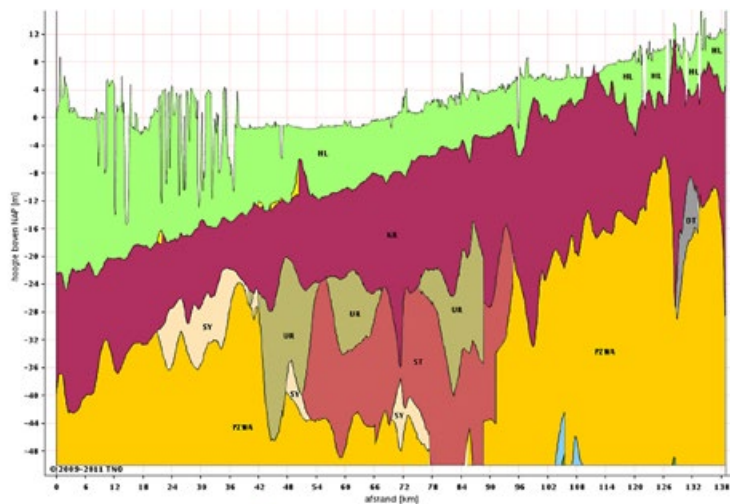
5

Tijdens het Eemien – de vóórlaatste warmere periode, 128.000 tot 116.000 jaar geleden – steeg de zeespiegel tot 4 à 6 meter boven het huidige niveau. Nederland werd deels overstroomd (zie kaartje g van figuur 34). In de glaciële bekkens werd klei afgezet, die bekend staat als Eemklei (zie figuur 39, de groene vlakken met code EEWB). Buiten de glaciële bekkens werd vooral zand afgezet.

Tijdens het Weichselien – de laatste ijstijd, 116.000 tot 11.600 jaar geleden – bereikte het landijs Nederland niet. Het klimaat had wel een wisselend verloop. De koudste periode was aan het einde van het Weichselien: omstreeks 18.000 jaar geleden. De zeespiegel lag toen 100 tot 130 meter lager dan nu.

In het midden van Nederland werden in deze periode fluviële afzettingen gedeponerd door de Rijn en de Maas (zie kaartje h van figuur 34). In de rest van het land zijn eolische afzettingen gedeponerd, waaronder de löss in Limburg.

Een west-oost-doorsnede van de Nederlandse ondergrond ter hoogte van het rivierengebied (figuur 40) laat zien dat de jongste afzettingen van het Pleistoceen behoren tot de Formatie van Kreftenheye. Dit zijn vooral grove zanden, die zijn afgezet door rivieren.



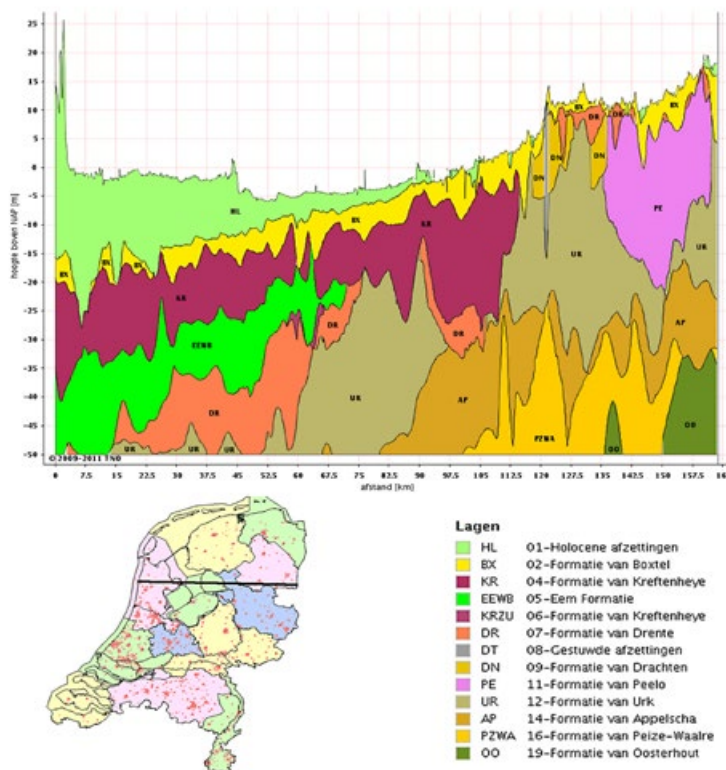
Lagen

- | | |
|------|-----------------------------|
| HL | 01-Holocene afzettingen |
| BX | 02-Formatie van Boxtel |
| KR | 04-Formatie van Kreftenheye |
| DT | 08-Gestuwde afzettingen |
| UR | 12-Formatie van Urk |
| ST | 13-Formatie van Sterksel |
| SY | 15-Formatie van Stramproy |
| PZWA | 16-Formatie van Peize-Waale |
| MS | 17-Formatie van Maassluis |
| OO | 19-Formatie van Oosterhout |

Figuur 40: West-oost-doorsnede door het rivierengebied.

5

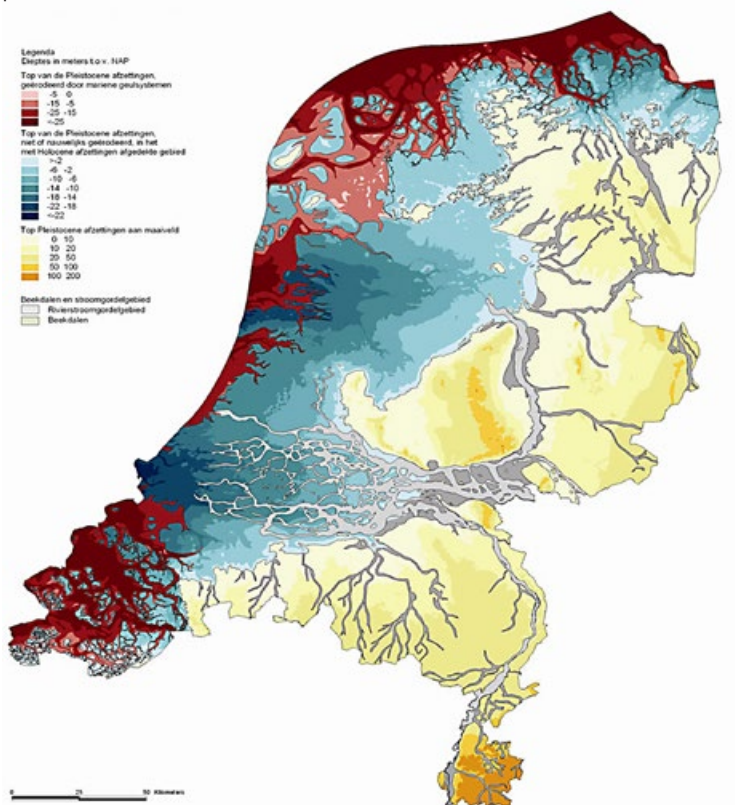
Figuur 41 is een west-oost-doorsnede van Nederland ter hoogte van de lijn Noord-Holland – Drenthe. Hieruit blijkt dat de jongste afzettingen van het Pleistoceen behoren tot de Formatie van Boxtel, die vooral uit zand bestaat.



56 Figuur 41: West-oost-doorsnede langs de lijn Noord-Holland – Drenthe.

5

De meeste funderingen in Nederland ontleen hun draagkracht waarschijnlijk aan de Formaties van Kreftenheye en Boxtel. Zoals eerder aangegeven zijn dit afzettingen uit de laatste koudere periode; het Weichselien.

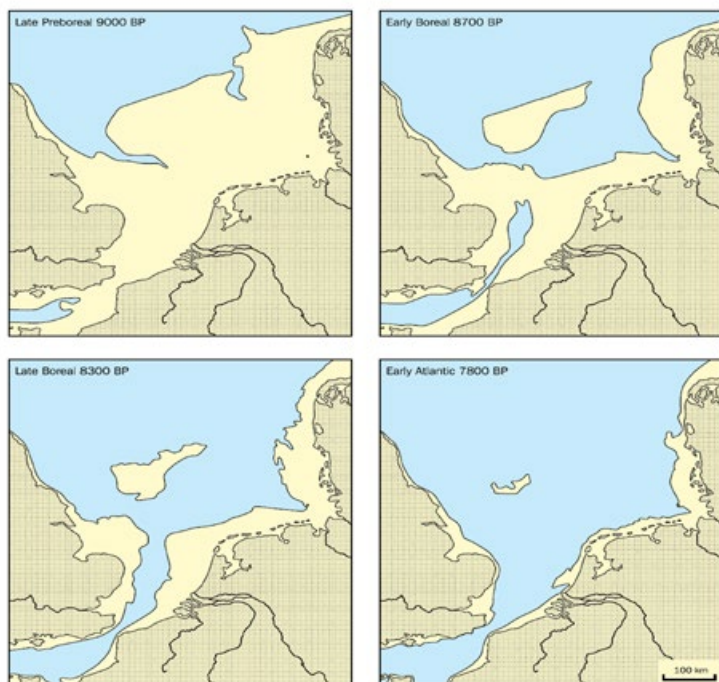


57 Figuur 42: De hoogteligging van de bovenzijde van de pleistocene afzettingen in Nederland.

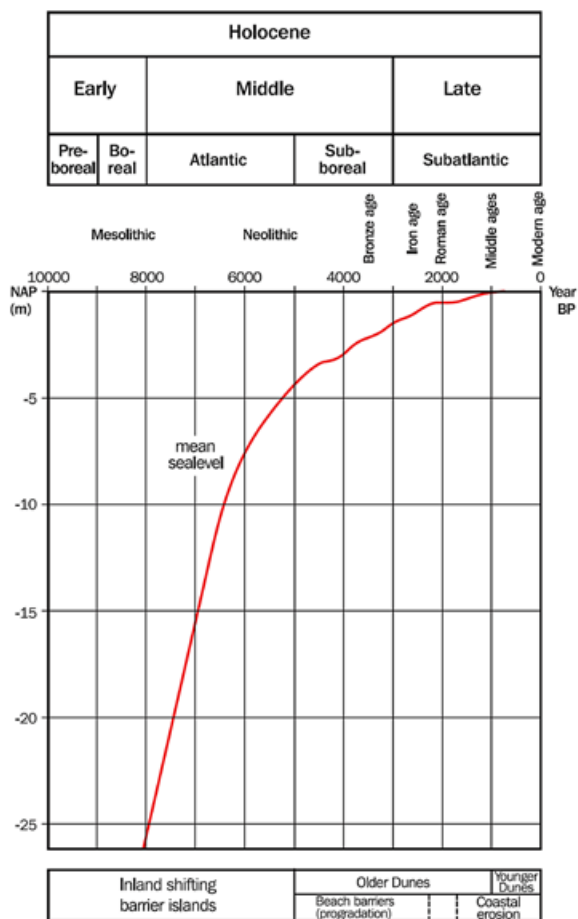
5

Holoceen

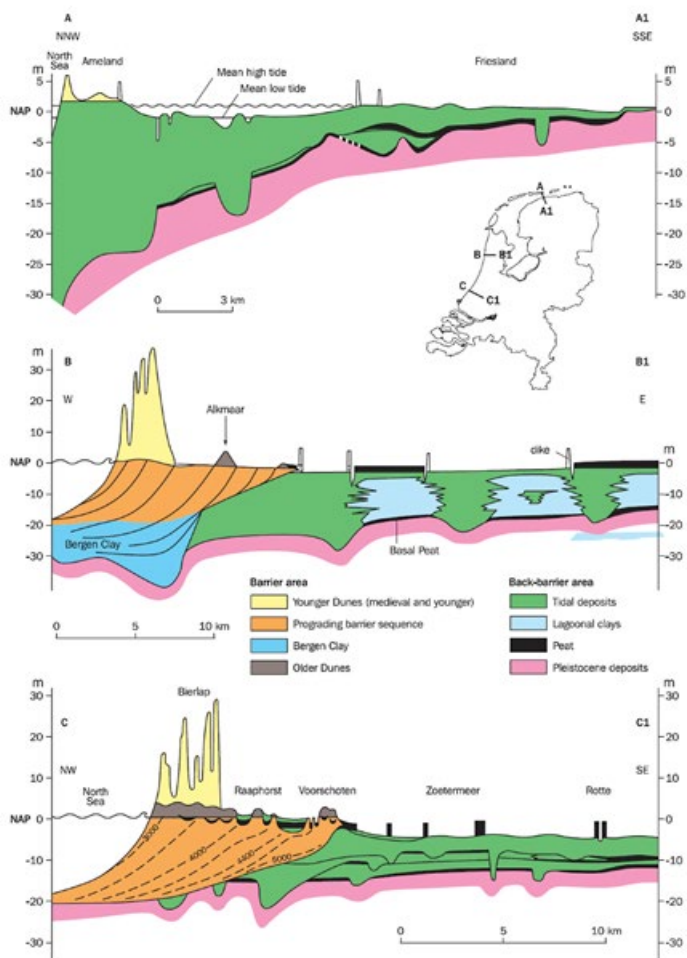
De laatste warmere periode van het Kwartair, het Holoceen, begon 11.600 jaar geleden en duurt nog steeds voort. Met name aan het begin van het Holoceen steeg de zeespiegel snel, als gevolg van het afsmelten van gletsjers en ijskappen.



Figuur 43: Stijging van de zeespiegel aan het begin van het Holoceen.



59 Figuur 44: Zeespiegelstijging tijdens het Holoceen in relatie met de chronostratigrafie.



60 Figuur 45: Doorsneden door het Holoceen aan de kust van Nederland.

5

De belangrijkste afzettingen van het Holoceen zijn:

- De Formatie van Nieuwkoop, die uit veen bestaat.

Hiertoe rekenen wij het Basisveen (basis-holoceen, direct op het Pleistoceen) én het later gevormde Hollandveen.

- De Formatie van Naaldwijk, die uit klei en zand bestaat.

Deze afzettingen zijn marien van aard en betreffen getijdeafzettingen, lagunaire afzettingen en duinzanden.

- De Formatie van Echteld, bestaande uit klei en zanden die de grote rivieren hebben afgezet (fluviatiel).

Tegenwoordig worden funderingen bijna nooit meer aangelegd in de holocene afzettingen. Alleen de duinen (het Laagpakket van Schoorl) vormen hierop een uitzondering.

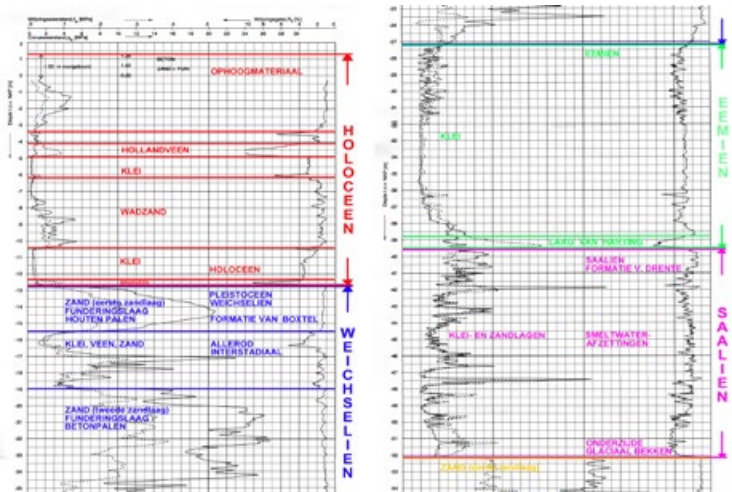
Tot de Tweede Wereldoorlog werden woningen en boerderijen in droogmakerijen vaak gefundeerd in de zeeklei van de Formatie van Naaldwijk of in de zanderige afzettingen van de Formatie van Echteld. Ook werden funderingen aangelegd boven het Hollandveen. In Amsterdam zijn diverse monumentale panden van meerdere bouwlagen op staal gefundeerd.

De zakkingsverschillen in deze funderingen zijn vaak beperkt gebleven doordat eerdere ophogingen en bebouwing het Hollandveen plaatselijk hebben voorbelast.

5

Tot slot in figuur 46 een bijzondere sondering, die in het glaciële bekken van Amsterdam is uitgevoerd. Deze sondering is uitgevoerd door de afzettingen van de laatste twee warmere perioden (Holoceen en Eemien) en van de laatste twee koudere perioden (Weichselien en Saalien) heen.

Figuur 46: Diepzware sondering in Amsterdam.



Met deze sondering eindigt '1-2-3 Geologie voor Ingenieurs'.

Meer weten?

Er valt natuurlijk nog veel meer te vertellen over de geologie van Nederland. Bij de bronnen zijn diverse websites vermeld, die nog veel meer informatie bieden. Vooral de website van het DINOLOket is zeer geschikt om meer te leren over de relatie tussen geologie en geotechniek.

Bronnen

6

Websites

- International Commission on Stratigraphy:
<http://www.stratigraphy.org/>
- Geodynamics group at the Geological Survey of Norway:
<http://www.geodynamics.no/>
- Wikipedia: <http://www.wikipedia.org/>
- DINoloket: <http://www.dinoloket.nl/>
- Geologie van Nederland: <http://www.geologievannederland.nl/>
- NL Olie- en Gasportaal: <http://www.nlog.nl/nl/home/NLOGPortal.html>
- Noorderlicht Nieuwsbrief: <http://www.wetenschap24.nl/>
- KNMI: <http://www.knmi.nl/>

Boeken

- Geology of The Netherlands, Wong Th.E. et al, KNAW, 2007
- De ondergrond van Nederland, Mulder F.J. de et al,
Wolters-Noordhoff, 2003
- Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, 2004

Artikelen

- European geography in a global context from the Vendian to the end of the Palaeozoic, Cocks L.R.M. & Torsvik T.H., The Geological Society of London, 2006
- Atmospheric carbon dioxide concentrations over the past 60 million years, Pearson P.N. & Palmer M.R., Nature, Vol. 406, 2000
- Transient middle eocene atmospheric CO₂ and temperature variations, Bijl P.K. & Houben A.J.P. et al, Science, Vol. 330, 2010
- Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present, James Zachos et al, Science, Vol. 292, 2001

6

Herkomst en verantwoording figuren

Copyright berust bij genoemde uitgevers/auteurs.

- Figuur 1: Op basis van de International Chronostratigraphic Chart (July 2012) <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale>
- Figuren 2, 4, 5, 6, 8, 11, 13 en 14: Global Palaeozoic Maps (Cocks & Torsvik 2002; Torsvik et al. 2002 – BATLAS) <http://www.geodynamics.no/maps/>
- Figuren 3, 7, 15, 16, 24, 25a, 25b en 31: Wikimedia Commons – Figuur 3: Publiek Domein – Figuren 7, 15 en 16: Licentie Gelijk Delen, auteur Woudloper – Figuren 24, 25a en 25b: GNU Free Documentation License, auteur Robert A. Rohde – Figuur 31: Licentie Gelijk Delen
- Figuren 9, 10, 20, 26, 32, 33, 34, 43, 44 en 45: Geology of The Netherlands, Wong Th.E. et al, KNAW, 2007
- Figuur 12: TNO voor Noorderlicht Nieuwsbrief <http://www.wetenschap24.nl/nieuws/artikelen/2002/juni/Zuidwalvulkaan.html>
- Figuur 17: KNMI <http://www.knmi.nl/seismologie/kaart.html>
- Figuur 18: http://seismologie.oma.be/dir1700/pdf/Poster_SeismicHazard+EC8_NL.pdf
- Figuur 19: Crook, Th. de, 1996, A seismic zoning map conforming to Eurocode 8, and practical earthquake parameter relations for the Netherlands, Geologie en Mijnbouw, 75, pp 11-18
- Figuur 21: TNO, Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, 2004 www.nlog.nl/nl/pubs/atlas/doAtlas/doAtlas.html
- Figuur 22, 35, 39, 40 en 41: Op basis van het Digitaal Geologisch Model van TNO <http://www2.dinoloket.nl/dinoLks/map/map.jsp?setLayerId=M09M1316>

6

- Figuur 23: Op basis van de International Chronostratigraphic Chart (July 2012) en Geology of The Netherlands, Wong Th.E. et al, KNAW, 2007
- Figuren 27, 28 en 29: Op basis van het Digitaal Geologisch Model van TNO en het sondeerarchief van Fugro GeoServices B.V.
- Figuur 30: De ondergrond van Nederland, Mulder F.J. de et al, Wolters-Noordhoff, 2003
- Figuren 36, 37 en 46: Sondeerarchief Fugro GeoServices B.V.
- Figuur 38: Stichting Atlas van Nederland <http://avn.geog.uu.nl/13geologie/56/56.html>
- Figuur 42: Vos, P. & S. de Vries 2013: 2e generatie paleo-geografische kaarten van Nederland (versie 2.0). Deltares, Utrecht. Gedownload van www.archeologieinnederland.nl.

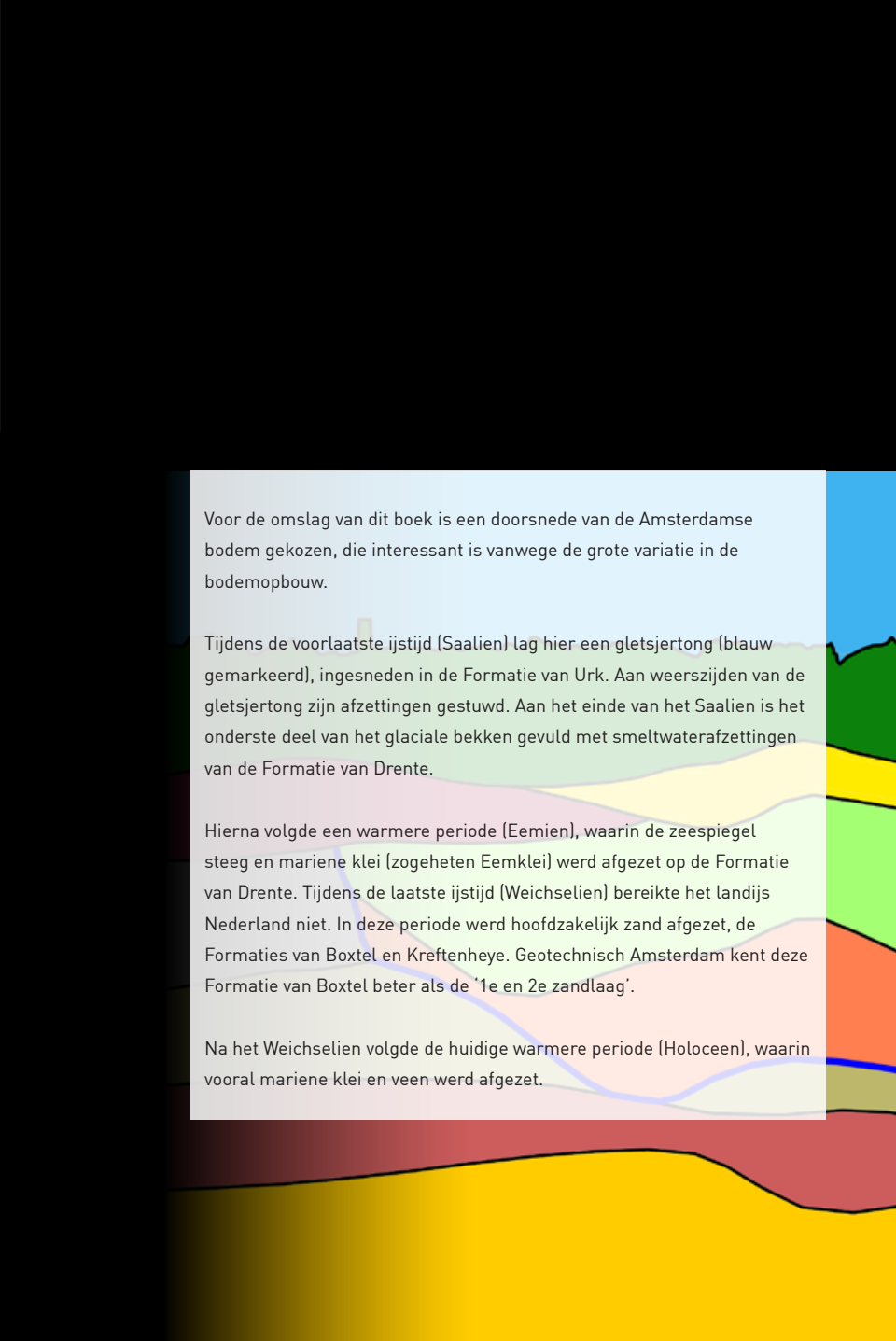
Colofon

Tekst: Herman Keijer,
Fugro GeoServices B.V.

Eindredactie:
Philip Reedijk,
Maas Communicatie

Ontwerp en opmaak:
Martin Hoogmoed,
Maas Communicatie

Uitgever:
KIVI, afdeling Geotechniek
ISBN: 978-90-9028843-7



Voor de omslag van dit boek is een doorsnede van de Amsterdamse bodem gekozen, die interessant is vanwege de grote variatie in de bodemopbouw.

Tijdens de voorlaatste ijstijd (Saalien) lag hier een gletsjertong (blauw gemarkeerd), ingesneden in de Formatie van Urk. Aan weerszijden van de gletsjertong zijn afzettingen gestuwd. Aan het einde van het Saalien is het onderste deel van het glaciële bekken gevuld met smeltwaterafzettingen van de Formatie van Drente.

Hierna volgde een warmere periode (Eemien), waarin de zeespiegel steeg en mariene klei (zogenoeten Eemklei) werd afgezet op de Formatie van Drente. Tijdens de laatste ijstijd (Weichselien) bereikte het landijs Nederland niet. In deze periode werd hoofdzakelijk zand afgezet, de Formaties van Boxtel en Kreftenheye. Geotechnisch Amsterdam kent deze Formatie van Boxtel beter als de '1e en 2e zandlaag'.

Na het Weichselien volgde de huidige warmere periode (Holoceen), waarin vooral mariene klei en veen werd afgezet.