

# Kwartairgeologie van West-Nederland

W. de Gans

## Inleiding

In tegenstelling tot de voorafgaande tijdvakken wordt het Kwartair gekenmerkt door een afwisseling van klimatologisch koude (glaciale) en relatief warme (interglaciale) perioden. Deze afwisseling, die met name is vastgesteld met behulp van onderzoek aan fossiel stuifmeel (Zagwijn, 1975), dient als basis voor de chronologische indeling van het Kwartair.

Het Kwartair beslaat een periode van circa 2.000.000 jaar. Omtrent het begin van het Kwartair variëren de meningen. De schattingen lopen uiteen van 2.480.000 jaar voor heden (Clapper-ton, 1990) en 2.300.000 jaar (Zagwijn, 1985) tot 1.650.000 jaar voor heden (Fulton, 1989). De klimatologische veranderingen, die in het Kwartair zijn opgetreden, zijn voor een groot deel bepalend geweest voor de geologische processen die zich in West-Nederland hebben afgespeeld. Immers, ten tijde van een glaciale periode stond de zeespiegel, afhankelijk van de grootte van de gletjers en landijsbedekking, vele tientallen meters lager dan nu. Als gevolg daarvan was het enerzijds mogelijk dat er glaciale, fluvioglaciale of periglaciale afzettingen werden gevormd, anderzijds konden rivieren als gevolg van de lage zeespiegelstand dalen insnijden die vervolgens geleidelijk aan werden opgevuld. In interglaciale perioden kwam de zeespiegel weer omhoog en konden in de kustgebieden van West-Nederland mariene of kustnabije afzettingen worden gesedimenteerd.

Deze afwisseling van mariene afzettingen uit tussen-ijstijden en glaciale/fluvioglaciale/periglaciale afzettingen uit ijstijden vinden we vooral in de Midden- en Boven-Pleistocene afzettingen terug. Dat deze afwisseling teruggevonden wordt in de ondergrond van West-Nederland komt door de regionale bodemdaling van het Noordzeebekken. Deze bodemdaling, die het meest intensief is geweest in Noord-Holland, is verantwoordelijk voor het feit dat de opeenvolgende afzettingen boven elkaar liggen en niet geheel geërodeerd zijn. Als gevolg van deze bodemdaling zijn de Kwartaire afzettingen in Noord-Holland 500 m dik. In de Noordzee zelfs plaatselijk meer dan 700 m (fig. 1). De sedimenten die in het Kwartair zijn gevormd bestaan voornamelijk uit zand; daarnaast ko-

men in veel mindere mate kleilagen voor en in nog mindere mate veenlagen. De sedimenten zijn op grond van hun lithologische eigenschappen gegroepeerd in Formaties. De Rijks Geologische Dienst hanteert een systeem waarbij de Formaties in het Kwartair worden onderscheiden op grond van hun genese: afzettingen in verband met landijs, afzettingen van lokale herkomst, afzettingen van grote rivieren en afzettingen in zee en bij de kust. De afzettingen van de grote rivieren worden verder onderverdeeld op grond van de herkomst van het sediment (Rijn, Maas, of 'Oostelijke rivieren') het-

geen tot uiting komt in de zware mineralen samenstelling van de zandfractie maar ook in de macroscopische kenmerken als grindsamenstelling, kleur en kalkgehalte. De verschillende onderscheiden Formaties zijn weergegeven in Figuur 2. De meeste van deze Formaties worden in de ondergrond van West-Nederland teruggevonden.

Om een overzicht te krijgen van de opbouw van het Kwartair van West-Nederland is met behulp van boor- en laboratoriumgegevens van de Rijks Geologische Dienst een profiel gekonstrueerd langs de kust van West Neder-

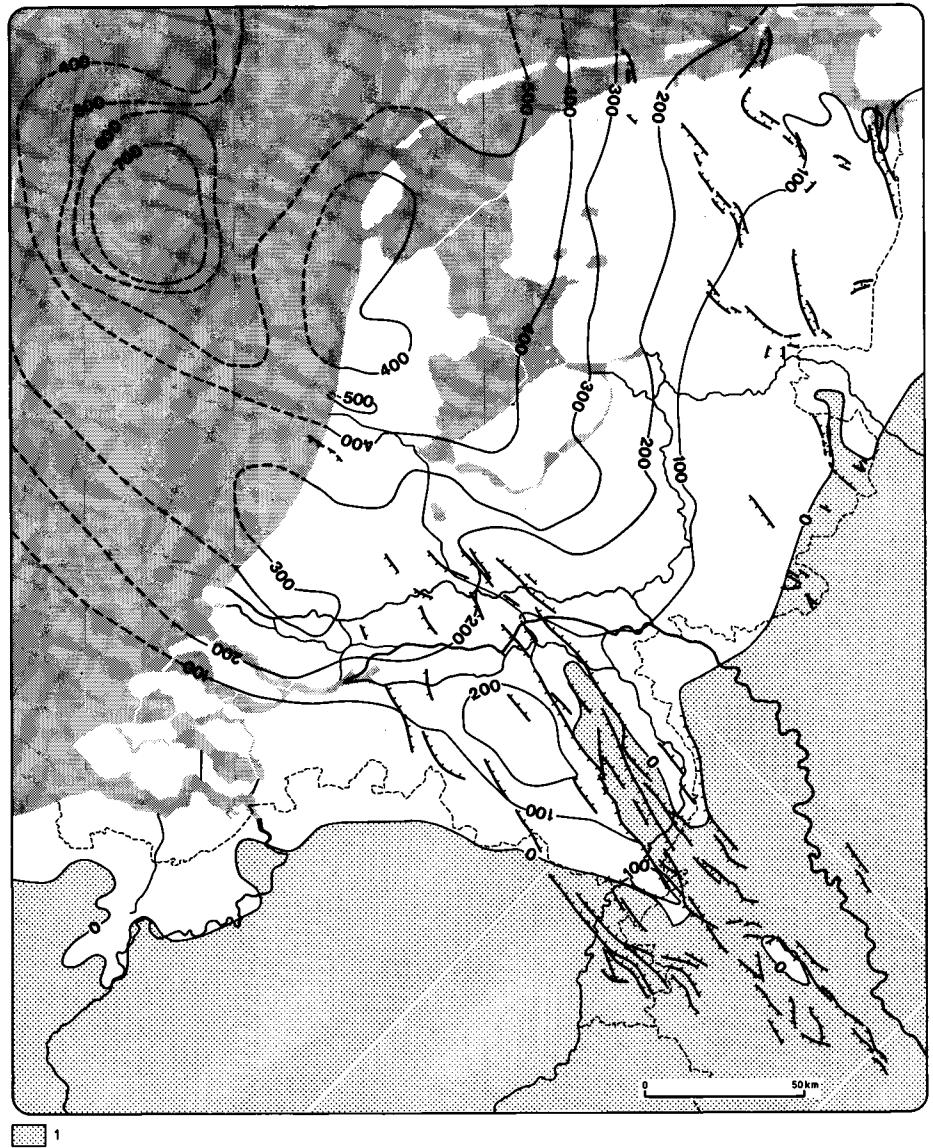
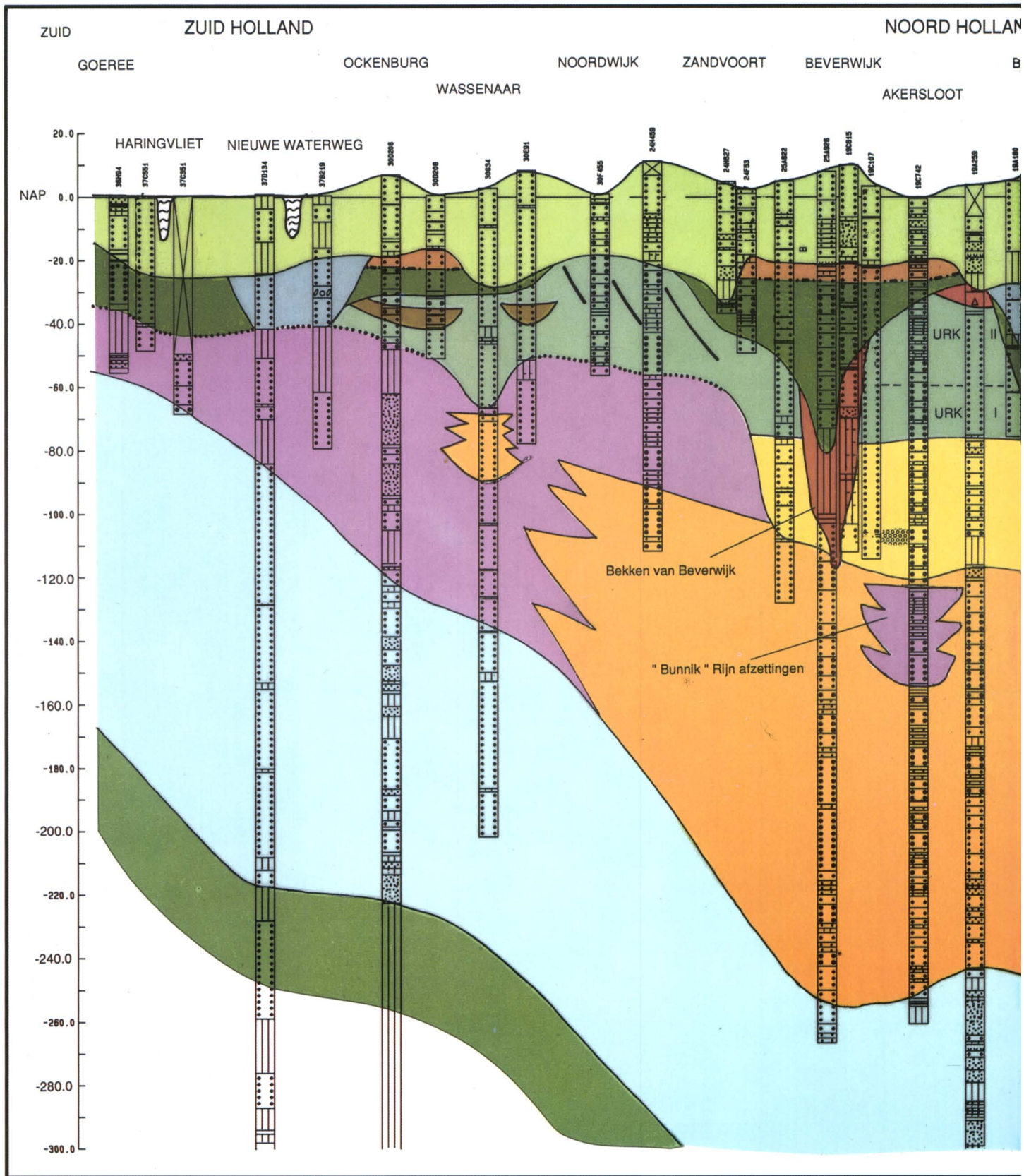


Fig. 1. Diepteligging van de onderkant van de kwartaire afzettingen van Nederland (naar Van Staalduinen e.a., 1979).



LITHOSTRATIGRAFIE





| Chronostratigrafie |                       |                       | Nederlandse lithostratigrafie      |   |                                 |                                   |                        |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|---|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
|                    |                       |                       | Afzettingen in verband met landijs | Afzettingen van lokale herkomst           | Afzettingen van grote rivieren  | Afzettingen in zee en bij de kust |                        |
| K W A R T A I R    | HOLOCEEN              |                       |                                    |   |                                 | Westland Formatie                 |                        |
|                    | P L E I S T O C E E N | Boven-                | Weichselien*                       | Formatie van Twente<br>E+V+P+B            | Formatie van Kreflenheye<br>R+M |                                   | Eem Formatie           |
| Eemien             |                       |                       |                                    |   |                                 |                                   |                        |
| Midden-            |                       | Saalien*              | Form. v. Drente                    | Formatie van Eindhoven                    |                                 |                                   |                        |
|                    |                       | Holsteinien           |                                    | E+P<br>B+V                                | Formatie van Urk                | ****                              |                        |
|                    |                       | Elsterien*            | F. v. Peelo                        |   | R                               | ****                              |                        |
|                    |                       | Cromerien complex**   | a                                  |   | Formatie van Sterksel<br>R+M    |                                   |                        |
| Onder-             |                       | Bavelien**            | b                                  |   | Formatie van Enschede<br>0      |                                   |                        |
|                    |                       | Menapien*             |                                    | Formatie van Kedichem (ten dele)<br>B+P+V | Formatie van Kedichem<br>R+M    |                                   |                        |
|                    |                       | Waalien               |                                    |   | Formatie van Tegelen<br>R+M     |                                   | Formatie van Maassluis |
|                    |                       | Eburonien*            |                                    |   |                                 |                                   |                        |
|                    | Tiglien               |                       |                                    |   |                                 |                                   |                        |
|                    | Praetiglien*          |                       |                                    |   |                                 |                                   |                        |
| P L I O C E E N    |                       | Boven-<br>(Reuverien) |                                    |   |                                 | Formatie van Oosterhout           |                        |

Fig. 2. Stratigrafische tabel van de Kwartaire afzettingen van Nederland (naar RGD).

a Afzettingen van weerdinge b "Hattem" lagen

\* Koude tijd

\*\* Complexe eenheid bestaande uit tenminste 4 warme en 3 koude tijden

\*\*\* Nog onbenoemd, voorlopig bij Formatie van Urk

\*\*\*\* (rechtsboven) Mariene afzettingen uit het Holsteinien

\*\*\*\* (rechtsonder) Mariene afzettingen uit het Cromerien

land (fig.3). Het profiel reikt tot 300 m-NAP en beslaat daarmee het grootste deel van de Kwartaire afzettingen van West Nederland. De profiellijn loopt van Goeree via de Hollandse kust naar Texel waar het in oostelijke richting afbuigt naar Friesland. Hier sluit het aan bij het door Bosch (1990) gepubliceerde profiel door Noord-Nederland. Uit het profiel kan direct zowel een verticale als een horizontale tweedeling worden afgelezen: 1) Ten zuiden van Noordwijk is de Kwartairgeologische opbouw gekenmerkt door afwezigheid van glaciële invloed en een relatief geringe bodemdaling; in tegenstelling van het gebied ten noorden van Noordwijk waar de invloed van landijsbedekkingen van grote invloed is geweest en waar een relatief sterke bodemdaling is opgetreden; 2) In het Vroeg-Pleistoceen (Onder-Pleistocene afzettingen) zijn na het Midden-Tiglien tussen de fluviatiele afzettingen geen indicaties voor een afwisseling van glaciële en interglaciële (mariene) sedimenten waarneembaar; dit in tegenstelling tot het Midden- en Laat-Pleistoceen.

Formatie van Maassluis

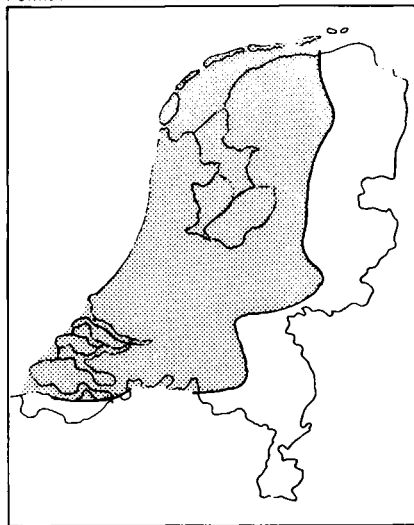


Fig. 4. Verbreidingsgebied van de Formatie van Maassluis.

### Het Onder-Pleistoceen

De overgang van het Tertiair naar het Pleistoceen wordt op grond van palynologische gegevens daar gelegd waar de gesloten vegetatie, die ken-

Formatie van Tegelen

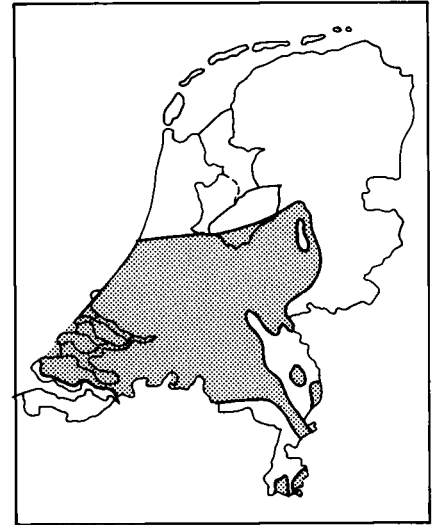


Fig. 5. Verbreidingsgebied van de Formatie van Tegelen.

Formatie van Kedichem

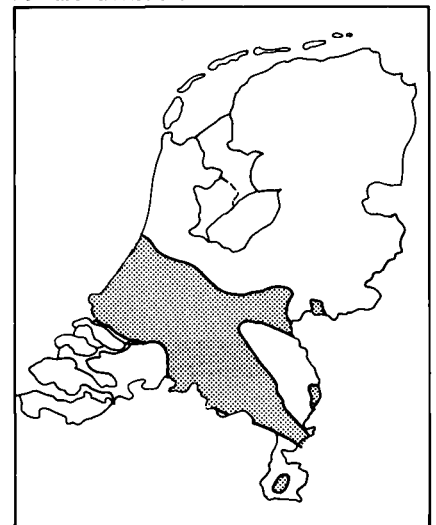


Fig. 6. Verbreidingsgebied van de Formatie van Kedichem.

merkend is voor het Tertiair, plaats gaat maken voor de eerste open vegetaties die op koude invloeden wijzen. De oudste Kwartaire afzettingen in West-Nederland bestaan uit mariene kleien en schelphoudende grove en fijne zanden die tot de Formatie van Maassluis worden gerekend (Fig.3 en 4). In feite zijn deze afzettingen een continuering van de Pliocene mariene afzettingen die hieronder liggen en die tot de Formatie van Oosterhout worden gerekend. De bovenkant van de Formatie van Maassluis ligt in Noord-Holland veel dieper dan in Zuid-Holland in verband met een intensievere bodemdaling in dit gebied. Midden in het Tiglien treedt er een verandering op in het sedimentatie milieu in West-Nederland. De mariene sedimentatie komt tot een einde en wordt vervangen door het sediment van twee riviersystemen.

In Zuid-Holland komen rivierafzettingen van Rijn, Maas en lokale rivieren voor die tot de Formaties van Tegelen en Kedichem worden gerekend (fig.5 en 6). De bovenkant van dit pakket bestaat meestal uit veenhoudende groengrijze glimmerhoudende klei die plaatselijk tot tientallen meters ontkalkt is. Deze ontkalking is het gevolg van bodemvorming op een schiervlakte (peneplain) die op de Formatie van Kedichem is gevormd. Onder dit ontkalkte pakket liggen kalkhoudende grijze zanden waarin lokaal dikke kalkhou-

Formatie van Harderwijk

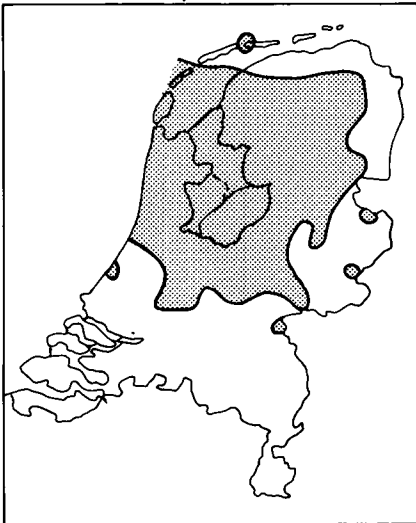


Fig. 7. Verbreidingsgebied van de Formatie van Harderwijk.

Formatie van Enschede

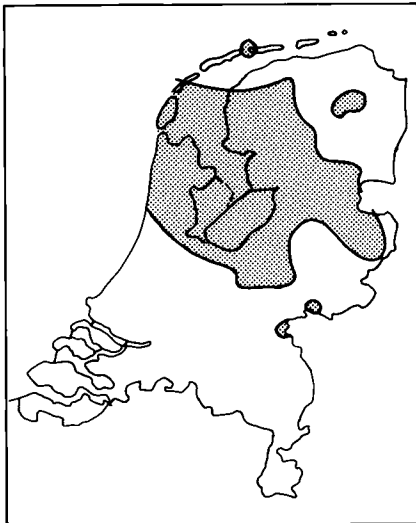


Fig. 8. Verbreidingsgebied van de Formatie van Enschede.

dende kleipakketten voorkomen. Als gevolg van de vorming van de schiervlakte is hier een stratigrafisch hiaat aanwezig dat een groot deel van het Cromerien omvat. In Noord-Holland komen afzettingen van rivieren voor die uit het Oosten afkomstig zijn. Dit zijn na-

genoeg witte kalkloze zanden die tot de Formaties van Harderwijk (fig.7) en Enschede (fig.8) worden gerekend. Het kalkarme tot kalkloze karakter van deze afzettingen komt doordat ze afkomstig zijn van een oudere ontkalkte schiervlakte die ten Oosten van Nederland gevormd zou zijn. Tegen het einde van het Vroeg-Pleistoceen is het meerdere malen gebeurd dat dit sedimentatie proces werd gekompliceerd doordat er in de Formatie van Harderwijk soms sedimenten voorkomen die naar grind en zware mineralen samenvatting op een Rijn invloed wijzen. Deze lagen worden 'Bunnik-Rijn' afzettingen genoemd (fig. 3). Omgekeerd komen er bovenin de Formatie van Kedichem afzettingen voor die op een 'oostelijke' fluviaatiele beïnvloeding wijzen. Deze lagen worden, niet geheel consequent, tot de Formatie van Harderwijk gerekend.

Het grensvlak tussen de Formaties van Harderwijk en Enschede en het vlak aan de bovenkant van de Formatie van Enschede zijn over grote afstanden dermate vlak, dat ook hier aan een soort schiervlakte gedacht kan worden.

### Het Midden-Pleistoceen

De overgang van het Onder- naar het Midden-Pleistoceen wordt getrokken op grond van veranderingen in de vegetatie die op gaan treden. Zo blijkt uit de palynologie dat de warmteminnende soorten van het Tertiair (o.a. palmen) vanaf nu geheel verdwenen zijn. In de afzettingen die in de ondergrond van West-Nederland voorkomen is deze verandering ook in sterke mate aan de sedimenten te zien.

De eerste verandering ligt in het sedimentatiepatroon van de rivieren. Van nu af aan is het vooral de Rijn (en in mindere mate de Maas) die het karakter van de rivierafzettingen bepaalt. Een tweede verandering is dat er op de overgang naar het Midden-Pleistoceen voor het eerst aanwijzingen in de sedimenten zijn dat er landijs in de buurt van Nederland is geweest.

### Fluviaatiele afzettingen in het Midden-Pleistoceen

Op de overgang van Onder naar Midden-Pleistoceen wordt de Rijn de dominante sedimenterende rivier. Het sediment bestaat voornamelijk uit kalkhoudende, rossige zanden die tot de Formaties van Sterksel en Urk (fig.9) worden gerekend. In het profiel (fig.3) zijn deze tot één formatie samengevoegd. In het zware mineralenbeeld is er een duidelijke toename van het augiet-gehalte. In eerste instantie werden

de eerste Rijn-sedimenten gevormd in een zuidoost-noordwest lopend dalstelsel. In de loop van het Cromerien breidde het sedimentatiegebied zich naar het noordwesten uit en wordt dan Formatie van Urk genoemd. De Formatie van Urk wordt in Noord-Nederland in twee fasen onderverdeeld. De Formatie van Urk I ligt onder de Formatie van Peelo en bestaat vooral uit zanden. De Formatie van Urk II ligt op de Formatie van Peelo en onder de Formatie van Drente/Eindhoven en da-

Formatie van Urk / Sterksel

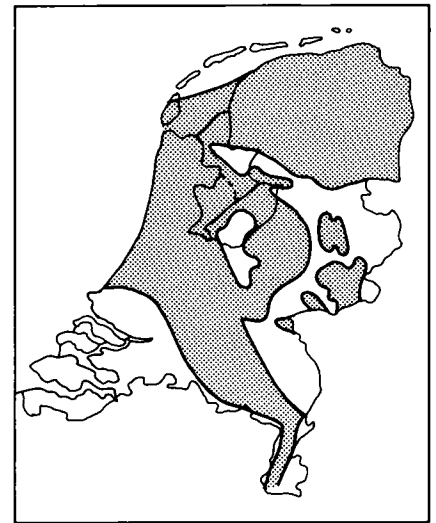


Fig. 9. Verbreidingsgebied van de Formatie van Urk/Sterksel.

teert dus uit het Holsteinien. Voor zover herkenbaar komt de Formatie van Urk II vooral ten Oosten van Texel voor en bestaat daar voor een groot gedeelte uit kleilagen. In Noord Holland is de Formatie van Urk II aangetoond bij Akersloot. Het is niet geheel duidelijk of we in Zuid-Holland met de Formatie van Urk I of Urk II te maken hebben. Op grond van de hoogte ligging van deze afzettingen nemen we aan dat ze tot de Formatie van Urk II (Holsteinien) behoren.

### Mariene afzettingen in het Midden-Pleistoceen

In het Midden-Pleistoceen komen een aantal mariene afzettingen in de Formatie van Urk voor die nog geen officiële Formatie-naam hebben gekregen. Dit zijn op de eerste plaats zanden met mariene schelpen en schelpresten die op een diepte van 65-70 m in Friesland voorkomen (fig.3). Ze zijn waarschijnlijk in het Cromerien gevormd en hebben een continentale equivalent in de zogenaamde Groene Bank zoals die door Bosch (1990) in Noord Nederland is beschreven. In Holland zijn deze afzettingen nog niet aangetoond. Mariene en kustnabije afzettingen uit

het Holsteinien komen wel in Holland voor. Onder Texel en de westelijke Waddenzee zijn ze gesedimenteerd in een voormalig Rijndal. Ze liggen hier op een diepte tussen 30 en 65 m -NAP. Door glaciële stuwving in het Saalien komen deze afzettingen plaatselijk tot dicht onder maaiveld voor. Onder Den Haag en Wassenaar komen zanden met mariene schelpen op een diepte van circa 30-40 m -NAP voor die op grond van hun stratigrafische positie tot het Holsteinien worden gerekend. In het gebied rond Bergen (NH) zijn schelphoudende mariene afzettingen aangetroffen tot op een diepte van circa 90 m -NAP. Het onderste deel van dit pakket is mogelijk eveneens in het Holsteinien gevormd (fig.3). Het lijkt erop dat de mariene afzettingen uit het Holsteinien met name in voormalige dalsystemen voorkomen (fig.10).

Mariene Holsteinlagen

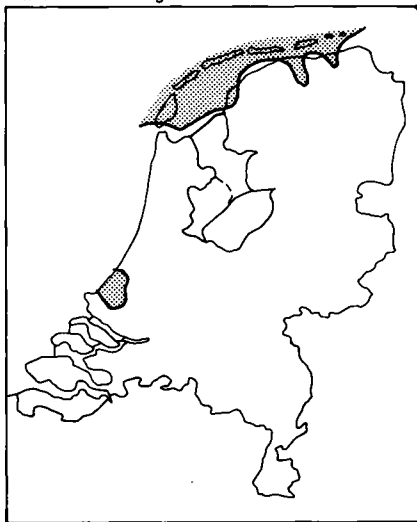


Fig. 10. Voorkomen van mariene afzettingen uit het Holsteinien.

### Glaciële afzettingen in het Midden-Pleistoceen

#### Hatterm-lagen

In de Formatie van Enschede (overgang Onder- naar Midden-Pleistoceen) komen stenen en grind voor die uit het gebied van de Botnische Golf en Dalarna (Scandinavië) afkomstig zijn. Deze stenen en grindlagen worden door Zandstra (1971) 'Hatterm-lagen' genoemd. Ze komen in Noord-Holland plaatselijk op een diepte van 90-100 m -NAP voor tot in de omgeving van Zaanstad/Akersloot (Westerhoff e.a. 1987).

Na deze oudste sedimenten met glaciële componenten, die waarschijnlijk aan het begin van het Cromerien zijn afgezet, zijn er geen fluvioglaciële afzettingen in West-Nederland bekend, die als equivalent van de Afzettingen

Formatie van Peelo

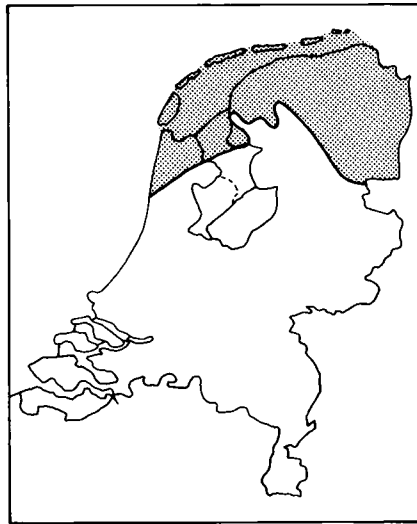


Fig. 11. Verbreidingsgebied van de Formatie van Peelo.

Formatie van Drente

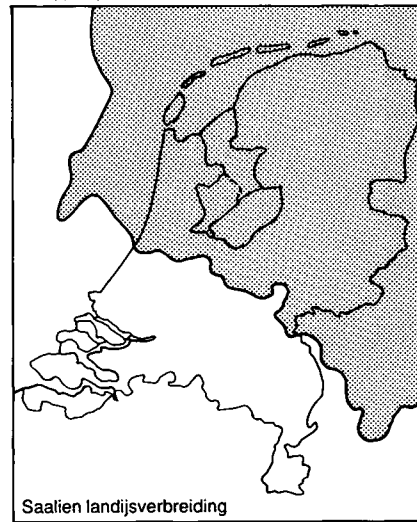


Fig. 12. Maximale landijsuitbreiding in het Saalien.

van Weerdingen (Mengzone) kunnen worden gerekend (vgl Bosch, 1990).

#### Elsterien

Wel zijn er in Noord-Holland, onder Texel en de westelijke Waddenzee afzettingen bekend die tot smeltwaterafzettingen uit het Elsterien (Formatie van Peelo) worden gerekend. Deze afzetting bestaat zowel uit fijnzandige glimmerhoudende zanden als uit dikke, donker gekleurde kleilagen (potklei). Een enkele maal is er ook keileem beschreven zoals in een boring bij Hypolytushoef op 60 m -NAP en in de Waddenzee op 53 m -NAP. Dit duidt erop dat in het Elsterien een landijsbedekking is geweest die tot in Noord-Holland reikte (fig.11). Dit wordt nog eens bevestigd door het pas recent bekend worden van een tot 160 m -NAP rei-

kend tunneldal uit deze periode nabij Bergen (N-H). Een opvallende waarneming in de westelijke Waddenzee door Zandstra (1977) is het boven elkaar voorkomen van twee verschillende pakketten behorende tot de Formatie van Peelo met daartussen een 10 m dik pakket Rijn afzettingen (fig.3). Indien deze interpretatie juist is dan duidt dit op twee verglettingsfasen in het Elsterien in Noord-Nederland. Deze opvatting komt overeen met waarnemingen over het Elsterien in Noord-Duitsland van o.a. Streiff (1990)

#### Saalien

Een geheel ander type vergletsjering is in het Saalien opgetreden (fig.12). Nu geen tunneldalen met smeltwaterafzettingen maar uitgestrekte keileem voorkomens in de ondergrond van Noord-Holland en stuwwallen en glaciële bekkens langs de zuidrand van de maximale landijsvoorkomens uit deze periode (Van den Berg & Beets, 1987; De Gans e.a., 1987). De sedimenten die met deze vergletsjering samenhangen worden tot de Formatie van Drente gerekend. Voor de komst van dit landijs pakket werden er in Noord-Nederland en de kop van Noord-Holland periglaciële, lokale afzettingen gevormd, die tot de Formatie van Eindhoven worden gerekend. Dit zijn meestal fijnzandige kalkloze tot kalkarme afzettingen die gelijkenis vertonen met de Formatie van Twente uit het Boven-Pleistoceen.

Glaciële stuwving is voorgekomen in twee verschillende zones in Nederland. De eerste zone loopt van Texel, via Wieringen naar Gaasterland. In deze relatief kleine stuwwallenreeks zijn zowel keileem uit het Saalien als oudere sedimenten meegestuwd. De tweede stuwwallenreeks, die van Haarlem via de zuidrand van Amsterdam (tot hier komen de stuwwallen niet aan maaiveld voor) naar de meest westelijke stuwwal opduiking bij Muiderberg loopt en vervolgens via de Utrechtse Heuvelrug naar de Veluwe, bestaat uit veel grotere (tot 100 m +NAP) door het landijs opgedrukte stuwwallen. Direct ten noorden van deze grote stuwwallenreeks liggen een aantal glaciële bekkens, namelijk, van west naar oost (fig.13): het Bekken van Beverwijk, het Bekken van Haarlem, het Bekken van Amsterdam, het Bekken van Amersfoort (Geldersche Vallei) en het Bekken van Deventer (IJsseldal). Opvallend is dat naar het oosten toe de bekkens steeds langere worden (van circa 15 tot 90 kilometer) en een steeds grotere diepte bereiken (van 112 tot 140 m -NAP). De bekkens zijn waarschijnlijk vooral gevormd door subglaciële smeltwater erosie (waarbij het smeltwater onder het landijs onder grote druk stond) naast

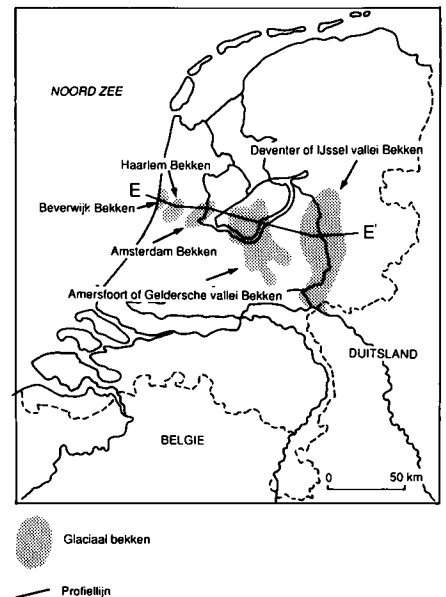
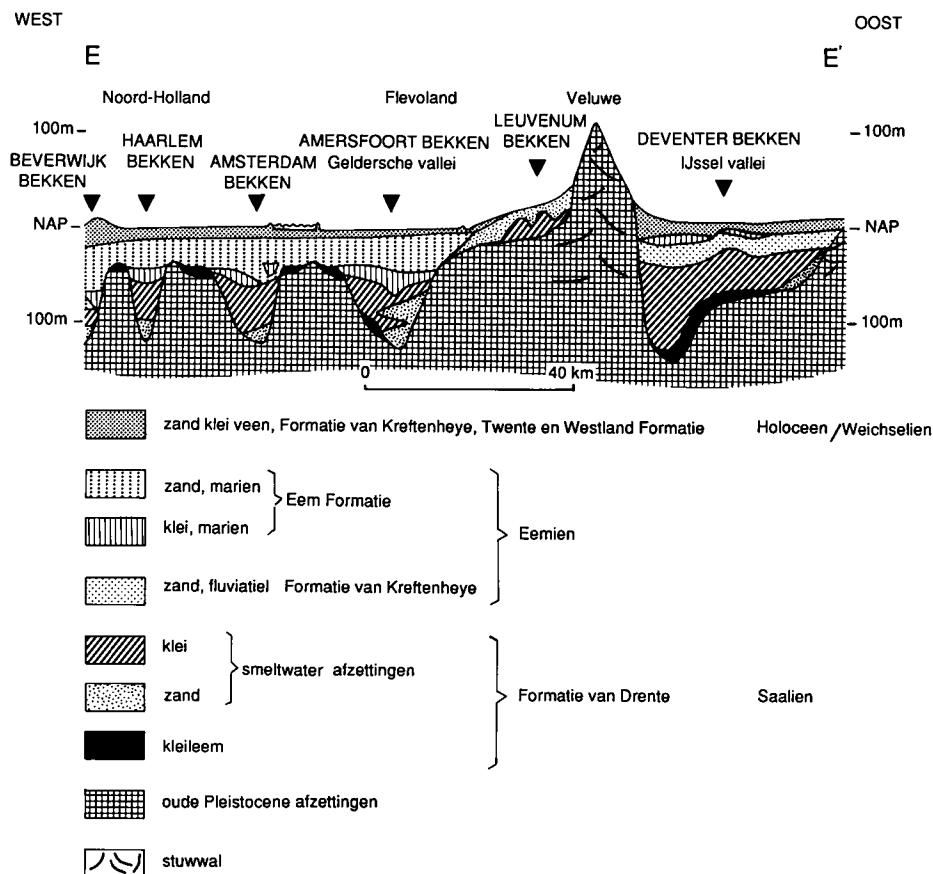


Fig. 13. Glaciale bekken in Nederland (naar De Gans, e.a., 1987).

uitschuren en opdrukken van de ondergrondsedimenten door landijstongen.

### Het glaciaal bekken van Amsterdam

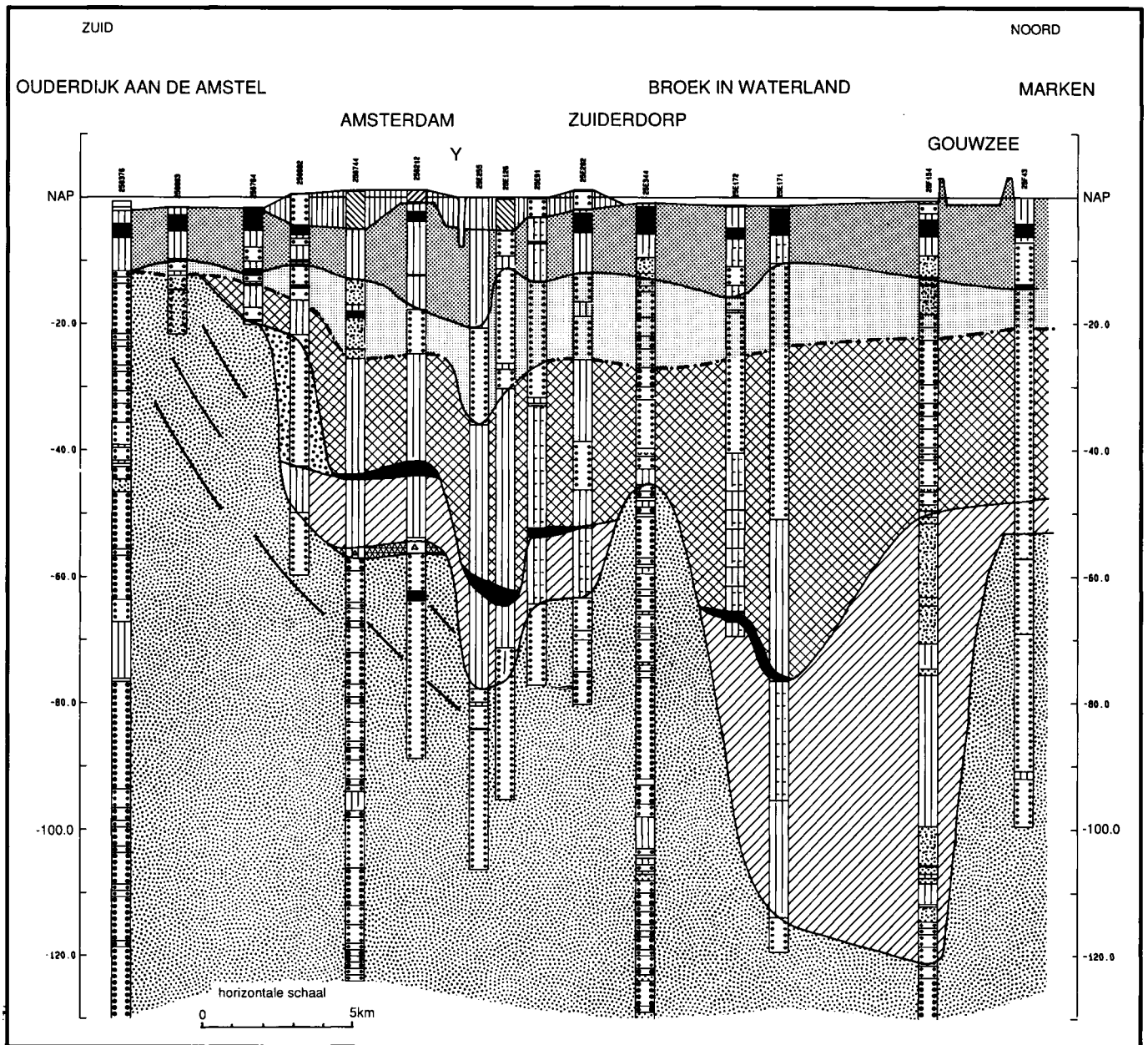
In het bekken van Amsterdam staan de meeste diepe boringen en is zodoende het best onderzochte glaciaal bekken van Nederland. In figuur 14 is een lengteprofiel door dit bekken weergegeven. Opvallend is de asymmetrische vorm, met de grootste diepte aan de noordkant. De opvulling van het bekken bestaat onderin achtereenvolgens uit een pakket keileem, bekkenafzettingen en hellingafzettingen die alle drie tot de Formatie van Drente behoren. Keileem komt alleen aan de zuidkant van het bekken, onder de stad Amsterdam, op een diepte van circa 50-60 m -N.A.P. voor. Hierop ligt een pakket smeltwater afzettingen (lacustro-glaciale afzettingen); deze bestaan in het gehele bekken onderin uit een tot 3 m dikke laag die is opgebouwd uit 60 tot 100 warven (jaargelaagdheid). De diepteligging van deze laag met warven is tussen circa 50 en ruim 100 m -NAP. Men neemt wel aan dat deze afzetting aanvankelijk in een meer op het zich in het bekken bevindende restant van het landijs is afgezet en later naar een secundaire, diepere positie is gezakt (De

Gans et al, 1987). Dit pakket warven gaat naar boven toe over in pakket smeltwater afzettingen die zijn aangevoerd vanuit het Noorden. Vandaar dat ze in het uiterste noorden van het bekken zandig zijn ontwikkeld, maar zuidelijker vrijwel geheel bestaan uit een pakket klei met een afnemende dikte (afhankelijk van de diepte van het bekken) van 40 - 25 m. De hoogste ligging van de smeltwater afzettingen is 40 m -NAP (onder Amsterdam), terwijl de zeespiegelstand waarschijnlijk meer dan 100 m -NAP stond. Hieruit kan worden afgeleid dat het meer waarin deze afzettingen zijn gevormd in deze periode omgeven was door een drempel die boven 40 m -NAP lag. De bovenkant van de bekkenafzettingen varieert sterk in diepteligging. Dit komt enerzijds door het feit dat er nog niet voldoende sediment was aangevoerd om het bekken te vullen, anderzijds kan dit verschil nog geaccentueerd zijn door compactie van de klei. Op de smeltwaterafzettingen komen langs de rand van het bekken zandige hellingafzettingen voor die afkomstig zijn van de omliggende stuwwallen en die gevormd moeten zijn tegen het einde van het Saalien. In het profiel zijn ze te zien aan de zuidkant van het bekken. Het is opvallend dat de ten zuiden van bekken van Beverwijk, Haarlem en Amsterdam in de ondergrond voorkomende stuw-

wallen niet veel hoger zijn en ver boven het maaiveld uitsteken. De oorzaak van deze veel geringere omvang in vergelijking met de stuwwallen van de Veluwe en Utrechtse Heuvelrug is drie ledig. Ten eerste is de geringere omvang van de westelijke bekken van invloed geweest. Ten tweede heeft de intensievere bodemdaling in Holland hiertoe bijgedragen, terwijl ten derde de stuwwallen in de ondergrond van West-Nederland voor een deel zijn geerodeerd door de zee in het Eemien.

### Het Boven-Pleistoceen

De grens tussen het Midden- en het Laat-Pleistoceen is op grond van palynologische gegevens min of meer arbitrair getrokken. Naar afzettingen worden er twee duidelijke lithostratigrafische eenheden onderscheiden: mariene afzettingen uit het Eemien en periglaciale afzettingen uit het Weichselien. In het Eemien drong de Eemzee het bekken van Amsterdam binnen waarbij de drempel werd uitgeschuurd tot 50 m -NAP. In eerste instantie werd er op de smeltwaterafzettingen een kalkgyttja, gyttja of veenlaag gevormd die bekend staat als de Laag van Harting (Harting, 1852). Deze laag ligt tussen de 40 en 80 m -NAP. Het onderste deel werd gevormd in het Vroeg-Eemien (fig.14). Ook in het Eemien vond



LITHOSTRATIGRAFIE











-  opgebrachte grond
-  mariene afzettingen Westland Formatie
-  periglaciale afzettingen Formatie van Twente
-  mariene afzettingen Eem Formatie
-  veen / gyttja-Laag van Harting
-  helling afzetting
-  smeltwater afzetting Formatie van Drente
-  keileem
-  oudere afzettingen ( gedeeltelijk gestuwd )
-  cryopediment

Fig. 14. Geologisch profiel door het Bekken van Amsterdam (Lithologische legenda zie figuur 3).



er aanvoer van sediment uit het noorden plaats. Vandaar dat er ook nu weer in het Noorden van het bekken zandige mariene afzettingen werden gevormd en meer naar het zuiden kleiige. Onder Amsterdam werd opnieuw een dikke kleilaag afgezet, nu met een dikte van 10-30 m. Kleien uit het Laat Eemien komen tot 12 m -NAP voor onder Buitenveldert. Aan het einde van het Eemien was het gehele bekken gevuld met sediment. Mariene sedimenten uit het Eemien komen in West-Nederland ook buiten de glaciële bekkens van Amsterdam, Haarlem en Beverwijk voor (fig. 16). Buiten de geïsoleerde en beschermde positie in de glaciële bekkens, waar ze voor een groot deel uit klei bestaan, zijn ze voor het grootste deel opgebouwd uit grof zand met mariene schelpen en schelpfragmenten. Hier komt de hoogteligging van deze afzettingen door later erosie niet boven de 20 m -NAP uit. De onderkant van de Eem Formatie ligt in de kustzone over het algemeen op 40-50 m -NAP. Een uitzondering vormt hierop het gebied boven het Elsterien tunneldal bij Bergen (NH) waar de Eem Formatie mogelijk dieper voorkomt. Het is echter niet uitgesloten dat het onderste deel van dit pakket tot het Holsteinien moet worden gerekend. De sedimenten van de grote rivieren (Rijn en Maas) worden vanaf het Saalien tot de Formatie van Kreftenheye gerekend (fig. 16). Men neemt aan dat de Rijn vanaf het einde van het Saalien een noordelijke loop had die via het IJsseldal en Bergen (NH) in zuidelijke richting omhoog. Deze dalloop, waarvan de onderkant nabij Bergen (NH) tot aan 50 m -NAP reikt (fig. 3), is waarschijnlijk tot aan het midden van het Weichselien de hoofdafvoer van het Rijn systeem geweest. Gedurende het Weichselien kwam het landijs niet verder dan Denemarken en de noordelijke Noordzee. In Nederland heerste een periglaciaal klimaat, waarbij een open permafrost aanwezig was die in centraal Nederland een dikte had van circa 20 m (Cleveringa & De Gans, in druk). Onder deze permafrostcondities vond enerzijds vervlaking van het landschap plaats (zie het cryopediment in het profiel), terwijl anderzijds op grote schaal helling en windafzettingen (dekzanden) werden gevormd die tot de Formatie van Twente worden gerekend. Deze kunnen tot 20 m dik worden zoals in het gebied tussen Bergen (NH) en Den Helder.

In het bekken van Amsterdam worden de afzettingen uit het Eemien afgedekt door een pakket zanden van de Formatie van Twente. In dit pakket komen lokaal veen en kleilaagjes voor die dateren uit het Midden Weichselien. Aan het einde van het Midden Weichselien zijn

deze lagen bij het verdwijnen van de permafrost door elkaar gekneed (gecryoturbeerd). Bouwtechnisch wordt deze zone in de ondergrond van Am-

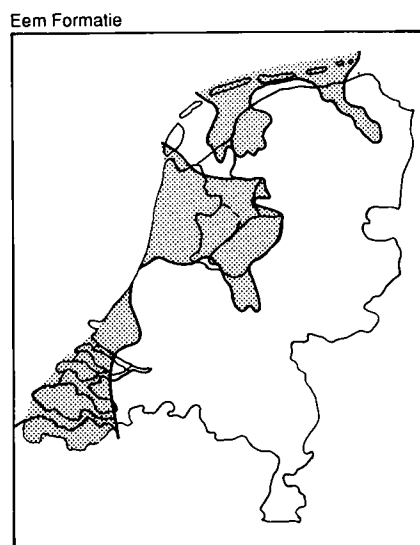


Fig. 15. Verbreidingsgebied van de Eem Formatie.

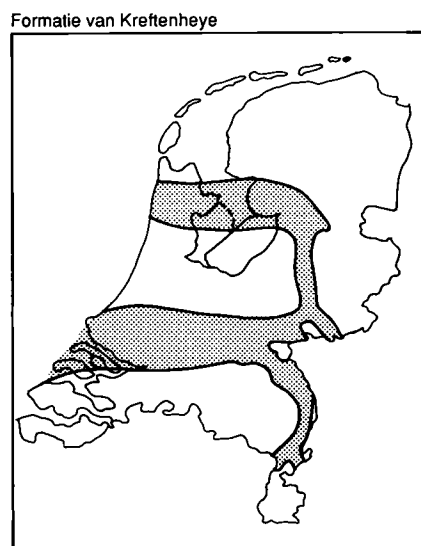


Fig. 16. Verbreidingsgebied van de Formatie van Kreftenheye.

sterdam de 'Tussenlaag' genoemd omdat hier een veel lagere conusweerstand wordt gemeten bij sonderingen (fig. 17).

Gedurende het Midden-Weichselien werd door stroomonthoofding een nieuw, zuidelijker, Rijndal gevormd. Dit dal loopt van Arnhem naar Hoek van Holland. De noordelijke loop van de Rijn raakte hierdoor buiten gebruik als afvoer van de Rijn. De basis van dit jongere dal reikt tot circa 40 m -NAP nabij de huidige kustlijn (fig. 3; fig. 16).

### Het Holoceen

In het Holoceen trad er opnieuw een

sterke zeespiegelstijging op waardoor een groot deel van West- en Noord-Nederland bedekt werd met mariene en kustnabije sedimenten. De Holoceen sedimenten in West-Nederland bestaan voornamelijk uit mariene, lagunaire, strand en duinafzettingen. Ze worden gerekend tot de Westland Formatie (fig. 18). In de kustzone bestaat de Westland Formatie vooral uit zanden, die in getijde geulen en platen, of in strandwallen, strandvlakten en duinen zijn gesedimenteerd. Naar het binnenland neemt over het algemeen de hoeveelheid zand af en de hoeveelheid klei en veen toe. Zo bestaat de Holoceen ondergrond van Amsterdam voornamelijk uit veen en klei. Plaatselijk komt er echter een zandplaat voor die het 'boerenzand' wordt genoemd en een duidelijk hogere conusweerstand heeft bij sonderingen dan de onder- en bovenliggende pakketten (fig. 17). Deze laag is als funderingsniveau voor kleinere bouwwerken van groot belang geweest voor de ontwikkeling van Amsterdam. In sommige diepe getijdegeulen komen lokaal dikke kleipakketten voor, zoals onder Den Haag, Haarlem en Bergen (NH). Opvallend is dat de getijdegeulen in de loop van het Holoceen steeds dieper worden geërodeerd: van circa 30 m in het Atlanticum, 40 m in het Subboreaal tot 50 m (Marsdiep) in het Subatlanticum. Hoewel het tijdsverloop van het Holoceen relatief kort is (slechts 10.000 jaar) is de maximale sedimentdikte van de Westland Formatie lokaal aanzienlijk. Zo is het pakket bij Schoorl ongeveer 60 m dik: 20 m duin en 40 m getijde-afzetting (Westerhoff e.a., 1987). In Zuid-Holland is de sedimentatie geschiedenis gedurende het Holoceen afwijkend omdat hier de Rijn (en in mindere mate de Maas) sediment bleven aanvoeren (De Groot & de Gans, in druk). Aan het einde van het Weichselien was hier in de ondergrond een breed dalsysteem aanwezig waarin een vlechtende rivier stroomde. Aan het begin van het Holoceen veranderde dit vlechtende riviersysteem in een meanderende rivier. Door de sterke zeespiegelstijging in de loop van het Holoceen werd de Rijn gedwongen tot sedimentatie om de stijging van het zeeniveau bij te houden. Hierdoor werd een sterk vertakkend (anastomiserend) geulen systeem gevormd. Dit systeem maakte tegen het einde van het Holoceen weer plaats voor een min of meer meanderend systeem (fig. 19).

### Bodemdaling

Zoals uit de helling van de bovenkant van de Formatie van Maassluis en de Formatie van Oosterhout in noordelijke richting blijkt is vooral in Noord-Holland

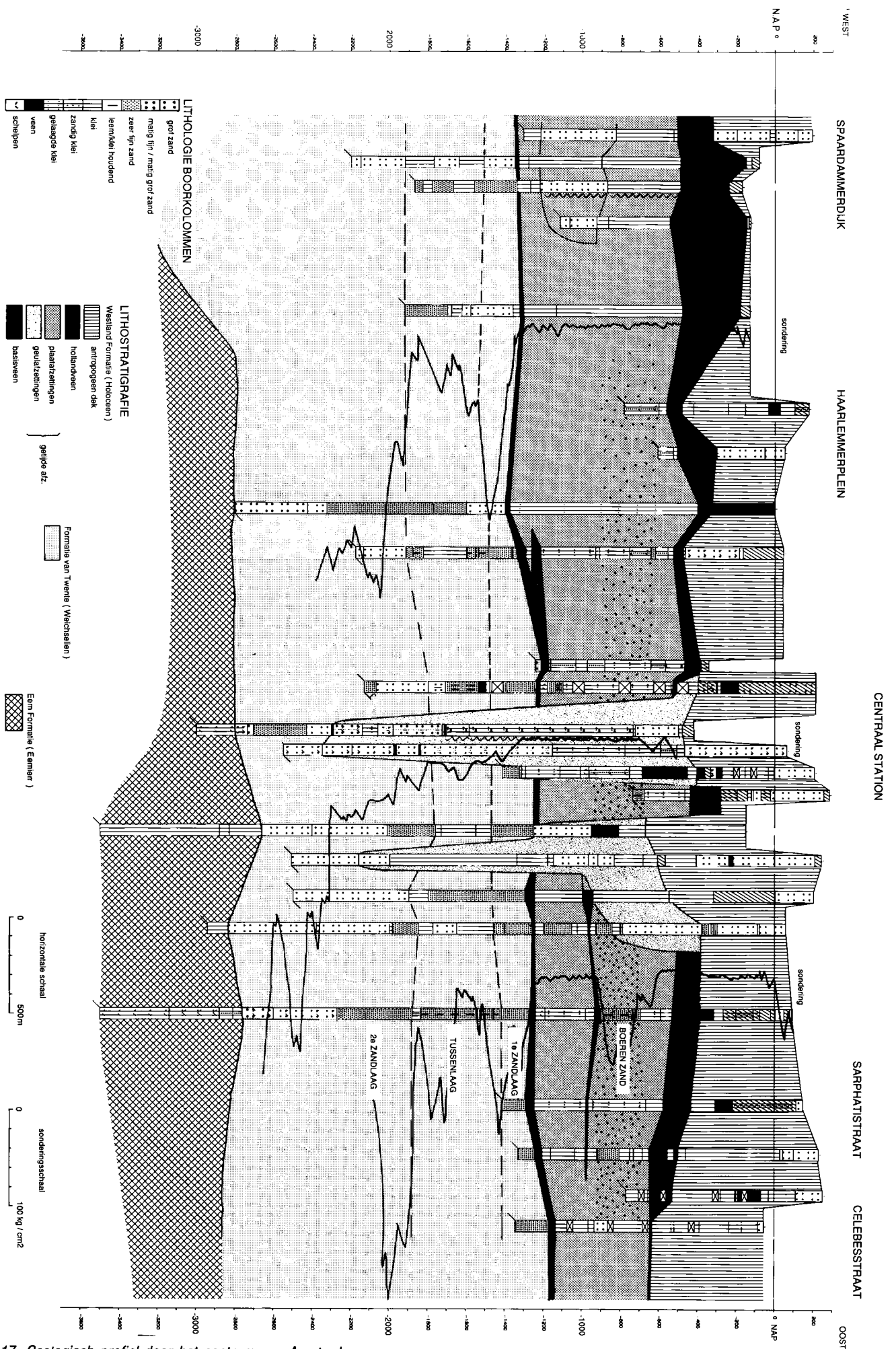


Fig. 17. Geologisch profiel door het centrum van Amsterdam.

Westland Formatie

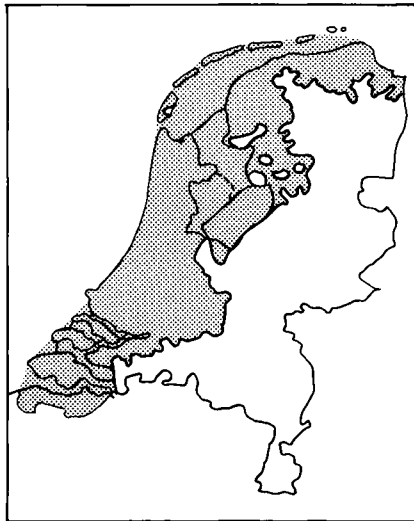


Fig. 18. Verbreidingsgebied van de Westland Formatie.

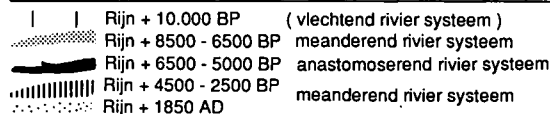
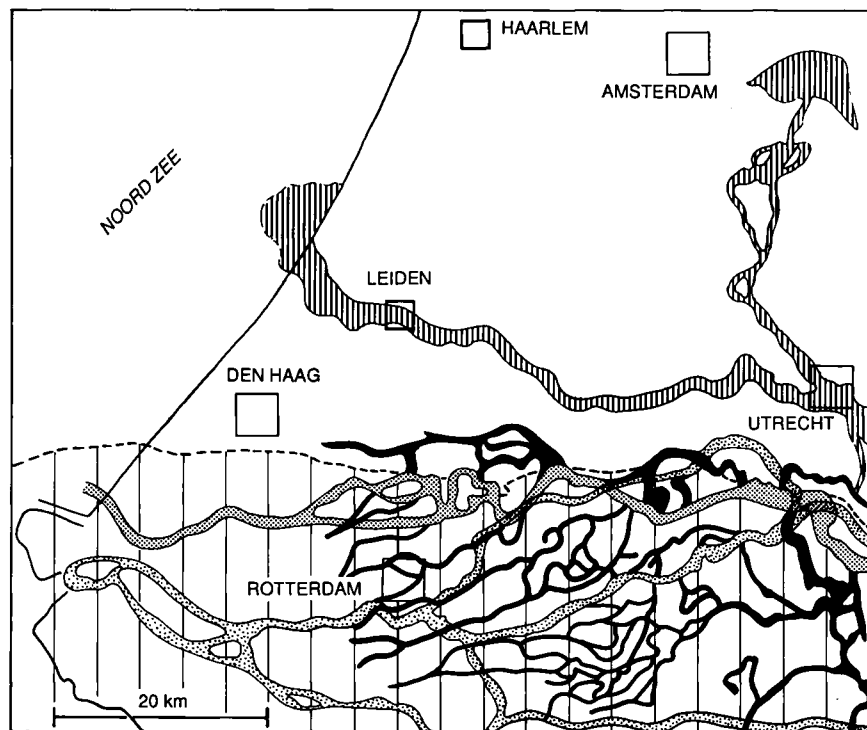


Fig. 19. Veranderingen in het drainagepatroon van de Rijn gedurende het Holoceen (vereenvoudigd naar De Groot & De Gans, in druk).

de bodemdaling sinds het begin van het Kwartair aanzienlijk geweest. Uit de geologische opbouw van West-Nederland en de ouderdom van bepaalde afzettingen kan een idee worden verkregen over de mate van bodemdaling in West-Nederland.

Voor het Vroeg-Pleistoceen kan de volgende redenering toegepast worden. Als wordt uitgegaan van een diepteligging van de onderkant van de oudste mariene Kwartaire sedimenten (onder-

kant van de Formatie van Maassluis) in Noord-Holland van 400 m -NAP bij een ouderdom van circa 2.300.000 jaar dan is de relatieve bodemdaling ongeveer 1,7 cm/100 jaar. Hierbij moet wel bedacht worden gehouden dat geen rekening is gehouden met de waterdiepte waarin deze afzettingen zijn gevormd en hoeveel compactie is opgetreden. Anderzijds is het ook mogelijk dat de afzettingen zijn gevormd bij een hogere zeespiegelstand. In theorie zou deze tot maximaal 35 m +NAP kunnen hebben gelegen als alle landijs zou zijn gesmolten. Dit is echter niet waarschijnlijk; een afwijking van enkele meters met de zeespiegelstand uit de huidige interglaciale periode (het Holoceen) is meer voor de hand liggend. Tenslotte moeten we er op bedacht zijn dat de aangenomen ouderdom van het sediment niet geheel correct kan zijn.

Een tweede indicatie kan worden afge-

de ligt tussen Zandvoort en Exmorra op een diepte van 70-80 m -NAP. Deze vlakke ligging duidt erop dat er sedert afzetting van dit niveau geen lokale verschillen in intensiteit van de bodemdaling zijn opgetreden. Met andere woorden is het mogelijk om lokale gegevens binnen dit gebied als geldend voor de gehele regio waar de Formatie van Enschede voorkomt te beschouwen. De hoogste mariene Holsteinien lagen zijn kwelderafzettingen waarvan de bovenkant op circa 18 m -NAP ligt bij Bergum in Friesland (Zagwijn & Van Staalduinen, 1975). Over de ouderdom van het Holsteinien lopen de meningen echter uiteen. Volgens Zagwijn (1985) ligt deze rond de 237.000 jaar; volgens Clapperton (1990) tussen 250.000-425.000 jaar. Hieruit volgen getallen van bodemdaling van respectievelijk 0,8 tot 0,4 cm/100 jaar. Gaan we uit van gegevens van het Eemien, waarbij de kwelders tot op 8 m -NAP liggen bij een ouderdom van circa 125.000 jaar, dan volgt hieruit een bodemdaling van ongeveer 0,6 cm/100 jaar. Resumerend lijkt het erop dat er sedert het begin van het Kwartair in Noord-Holland bodemdaling is opgetreden met een afnemende intensiteit van circa 1,7 tot 0,6 cm/100 jaar.

### Conservatisme in de geologie

Hoewel er enerzijds in het Kwartair van Nederland regelmatig grote veranderingen in de overheersende geologische processen optreden mede als gevolg van klimatologische veranderingen, zijn er anderzijds locaties die steeds weer opnieuw de laagste plek in een landschap vormden waarop de verschillende fluvioglaciale, fluviatiele en mariene processen konden inspelen. Een van die locaties ligt bij Bergen (NH). Na de vorming van een tunneldal in het Elsterien, is hier waarschijnlijk eerst de Holsteinzee binnengedrongen. Vervolgens werd er in het Saalien opnieuw een smeltwaterdal gevormd waardoor de Holsteinien-afzettingen gedeeltelijk werden geerodeerd. In het Eemien lag hier opnieuw de laagste plek langs de kust van Nederland waardoor de Eemzee ver het land kon binnendringen. In het Laat-Eemien/Vroeg-Weichselien stroomde hier een Rijndal (Formatie van Kreftenheye), terwijl tenslotte deze locatie aan het begin van het Holoceen opnieuw het laagste niveau in het landschap vormde waarop de Holocene mariene afzettingen het eerst en het verst het Nederlandse kustgebied binnendrongen.

## Geologische ontwikkeling van West-Nederland in de toekomst

Uit de verbredingskaartjes van de opeenvolgende interglaciale mariene afzettingen (Holsteinien, Eemien en Holoceen) blijkt dat het oppervlak van deze mariene afzettingen naarmate ze jonger zijn steeds groter wordt. Met name de Westland Formatie heeft een veel groter voorkomen dan de voorafgaande mariene interglaciale afzettingen.

Het is opvallend dat de lithologie van de mariene afzettingen (met uitzondering van het bovenste deel van de Westland Formatie en geïsoleerde beschutte voorkomens van oudere mariene afzettingen) voornamelijk uit schelphoudende zanden bestaat. Het lijkt erop dat de fijnkorrelige bovenkant van de mariene afzettingen door erosie in navolgende glaciële perioden is verdwenen. Het duidelijkste blijkt dit uit de afvlakking en erosie van de bovenkant het de Eem Formatie gedurende het Weichselien.

Vanuit dit gezichtspunt is het naar analogie mogelijk de lange termijn ontwikkeling van het Hollandse kustgebied te schetsen.

Volgens Berger (1980) is het waarschijnlijk dat er binnen 20.000 jaar een nieuwe glaciële periode zal aanbreken. Als gevolg daarvan zal de zeespiegel worden verlaagd en is te verwachten dat de bovenkant van de Westland Formatie zal worden geërodeerd zoals in het Weichselien de bovenkant van de Eem Formatie is weggesneden. Afhankelijk van de intensiteit van dit proces blijven er mogelijk alleen schelphoudende geulafzettingen van de Westland Formatie over in de ondergrond.

Dit houdt in dat na een volgende ijstijd het verbredingsgebied van de Westland Formatie veel geringer zal zijn.

## Verantwoording

Deze publicatie is mede tot stand gekomen door inzet van de medewerkers van District West van de Rijks Geologische Dienst. De heren H. Zwaan en drs. P. Cleveringa waren zo vriendelijk de tekst van commentaar te voorzien. De heer A. Walkeuter vervaardigde de tekstfiguren. De directeur van de Rijks Geologische Dienst, drs. Chr. Staudt, gaf toestemming voor deze publicatie.

## Summary

The Quaternary geology of the western part of the Netherlands (Holland ss) is described on the basis of a cross section running along the coast of Holland from Hook of Holland in the south to the

island of Texel in the north. From Texel it turns towards the east to the province of Friesland.

The Quaternary sedimentary processes are dominated by an overall regional subsidence since the Early Pleistocene and a climatic alternation of glacial and interglacial periods. The climatic alternation is clearly demonstrated in the sedimentary sequence of the Middle and Late Pleistocene. Deposits with a glacial/fluvioglacial/periglacial origin related to four glacial periods (Early Cromerian, Elsterian, Saalian and Weichselian) and three marine interglacial sequences (Late Cromerian, Holsteinian and Eemian) are described. These deposits are intercalated in between a thick sequence of fluvial sediments related to the Rhine (Urk Formation), which is the dominant fluvial system during the Middle and Late Pleistocene in the described area. The fill-sequence of the Amsterdam glacial basin dated to the Saalian is described in some detail.

Some tentative data are presented related to the regional Quaternary subsidence of the North-Holland area. These data suggest a decrease in the rate of subsidence during the Quaternary from 1,7 to 0,6 cm/100 years. On the basis of the Quaternary sedimentary sequence it is deduced that in a forthcoming glacial period, most of the Holocene marine deposits in Holland will be eroded due to the formation of a cryopediment.

## Adres van de auteur:

Rijks Geologische Dienst  
Postbus 157  
2000 AD Haarlem

## Literatuur

- Bosch, J.H.A., 1990. Landijs, zee en rivieren als geologische 'opbouwwerkers' van het Noorden. *Grondboor en Hamer* 4/5; p.90-94.
- Berg, M.W. van den & D.J. Beets, 1987. Saalian glacial deposits and morphology in The Netherlands. In: J.J.M. van der Meer (red) *Tills and Glaciotectionics in the Netherlands*. Balkema; p.235-252.
- Berger, A., 1980. Milankovitch theory of paleoclimates: a modern review. *Vistas in Astronomy*, 24. p. 103-122.
- Clapperton, Ch.M., 1990. Quaternary glaciations in the southern hemisphere: an overview. *Quaternary Science Reviews*. Vol 9; p. 299-304.
- Cleveringa, P & W. de Gans (in druk) *The Uddelemermeer, the history of a degrading pingo*.
- De Groot, Th & W. de Gans (in druk) *Facies variations and sea-level rise respsons in the lower Rhine area during the last 15.000 years (The Netherlands)*.

Fulton, R.J., 1989. Quaternary geology of Canada and Greenland. *Geology of Canada*, no 1. Geological Survey of Canada. Vol K-1; p. 1-7.

Gans, W. de, Th. de Groot & H. Zwaan, 1987. The Amsterdam Basin, a case study of a glacial basin in The Netherlands. In: J.J.M. van der Meer (red) *Tills and Glaciotectionics in The Netherlands*. Balkema; p. 205-216.

Harting, P., 1852. *De bodem onder Amsterdam*. Verhandelingen der eersten Klasse van het Koninklijk-Nederlands Instituut van Wetenschappen, Letterkunde en Schoone Kunsten, 3e reeks, 5e deel, p. 73-232.

Staalduinen, C.J. van, H.A. van Adrichem Boogaert, M.J.M. Bless, J.W. Chr. Doppert, H.M. Harsveldt, H.M. van Montfrans, E. Oele, R.A. Wermuth en W.H. Zagwijn, 1979. *The geology of the Netherlands*. Mededelingen Rijks Geologische Dienst. Vol 31-2. 49 p.

Streiff, H., 1990. *Das Ostfriesische Küstengebiet*. Sammlung Geologischer Führer 57. 376 p.

Zagwijn, W.H., 1975. *De palaeogeografische ontwikkeling van Nederland in de laatste drie miljoen jaar*. K.N.A.G. Geografisch Tijdschrift IX, nr 3; p.181-201.

Zagwijn, W.H., 1983. *Sea level changes during the Eemian in the Netherlands*. *Geologie en Mijnbouw*, 62, nr 3; p.437-450.

Zagwijn, W.H., 1985. *An outline of the Quaternary stratigraphy of The Netherlands*. *Geologie en Mijnbouw*, 64. nr 2; p.17-24.

Zagwijn, W.H. & C.J. van Staalduinen, redacteurs, 1975. *Toelichting bij Geologische overzichtskaarten van Nederland*. Rijks Geologische Dienst, Haarlem. 134 p.

Zandstra, J.G., 1971. *Geologisch onderzoek in de stuwval van de Oostelijke Veluwe bij Hattem en Wapenveld*. Mededelingen Rijks Geologische Dienst, 22; p.215-260.

Zandstra, J.G., 1977. *Hoofdstuk 2.1. Historisch geologisch onderzoek; genese van het Pleistoceen*. In: C.J. van Staalduinen (redacteur) *Geologisch onderzoek van het Nederlandse Waddengebied*. Rijks Geologische Dienst. Haarlem. p.10-23.

