

# Samenvatting

## Sedimentaire ontwikkeling, seismische stratigrafie en begravingscompactie van de Chalk Groep in het Nederlandse Noordzeegebied

Dit proefschrift behandelt verschillende aspecten van de sedimentaire ontwikkeling, seismische stratigrafie en begravingscompactie van de gesteenten van de Chalk (*krijt*) Groep in de Nederlandse sector van de Noordzee (Fig. 1.2). Deze sedimenten zijn afgezet gedurende het Laat Krijt en vroegste Tertiair, ongeveer 99 tot 61 miljoen jaar geleden. Gedurende deze periode zorgde verhoogde vulkanische activiteit van oceanische spreidingsruggen direct en indirect voor een hoge zeespiegel. Hierdoor raakte een zeer groot deel van noordwest Europa overstroomd, hetgeen onder andere tot gevolg had dat de aanvoer van erosiemateriaal naar zee sterk verminderde. Deze omstandigheden bleken zeer gunstig voor de groei van kalkalgen zodat de zeebodem bedekt raakte met de fossiele resten hiervan. In de loop van miljoenen jaren werd zo een dik pakket krijtkalk afgezet. Deze periode kwam ten einde toen, als gevolg van het dalen van de zeespiegel en het vormen van de Alpiene gebergtegordel, wederom grote hoeveelheden erosiemateriaal in zee stroomden. Sindsdien is de krijtkalklaag in het Noordzeegebied tot meer dan drie kilometer diep onder erosiemateriaal begraven (Fig. 1.3).

Geologische kennis van de samenstelling en structuur van gesteentelagen in de diepe ondergrond is voor een groot deel afhankelijk van het economische belang van dergelijke gesteentelagen, bijvoorbeeld voor de winning van olie of gas. Daar de Chalk Groep in de Nederlandse sector van de Noordzee pas recentelijk als reservoirsteente is herkend, is de kennis hiervan in dit gebied nog betrekkelijk gering. Er zijn vooral goede beschrijvingen voorhanden van gebieden waar krijtkalk aan de oppervlakte ontsloten is, zoals in delen van zuidwest Engeland, noordoost Frankrijk, noord Duitsland en Denemarken. Daarnaast is een groot deel van de studies afkom-

---

stig uit de Deense en Noorse sectoren van de Noordzee, waar de Chalk Groep wel een belangrijk reservoirgesteente vormt (Fig. 1.4). Dit proefschrift nu beoogt de lacune die in de kennis van het Nederlandse Noordzeegebied bestaat voor een deel op te vullen.

Een korte uiteenzetting van de tektonische en paleogeografische ontwikkeling van noordwest Europa gedurende het Laat Krijt en vroegste Tertiair, alsmede van de samenstelling, sedimentatie en diagenese (“verstening”) van krijt, wordt gegeven in hoofdstuk 1 *Introduction*.

De kartering en beschrijving van de verschillende sedimentpakketten waaruit de Chalk Groep bestaat is het onderwerp van hoofdstuk 2 *Improved subdivision of the Chalk Group in the Netherlands North Sea area through mapping and facies analysis of seismic sequences*. Voor deze kartering is gebruikt gemaakt van gegevens afkomstig van verschillende geofysische opsporingsmethoden, zoals deze in de loop der tijd bij de exploratie naar olie en gas zijn verkregen. De belangrijkste hiervan zijn seismische secties (bijvoorbeeld Fig. 2.14) en boorgatmetingen (bijvoorbeeld Fig. 2.18). Op basis van het seismische reflectiepatroon kon de aanwezigheid van hiaten in de stratigrafische opeenvolging, en daarmee de aanwezigheid van verschillende gesteentepakketten, worden vastgesteld. In totaal zijn er aldus elf seismisch stratigrafische eenheden herkend en beschreven (paragraaf 2.3). Deze eenheden worden doorgaans gekenmerkt door een parallel en continu patroon van seismische reflecties (aangeduid als = in figuren 2.2 tot 2.12). Echter, plaatselijk wijst een chaotisch reflectiepatroon op de aanwezigheid van aardverschuivingen (aangeduid als ≈ in figuren 2.2 tot 2.12). De ouderdom van de verschillende seismisch stratigrafische eenheden is bepaald met behulp van micropaleontologische dateringen van gesteentemateriaal afkomstig van boringen. De onderscheiden eenheden vormen de basis voor een verbeterde stratigrafische indeling van de Chalk Groep in dit gebied, en worden zo ook toegepast in de rest van dit proefschrift.

In hoofdstuk 3 *Cenomanian to Danian tectono-sedimentary evolution of the Netherlands North Sea area* wordt de tektonische en sedimentaire evolutie van het Nederlandse Noordzeegebied gedurende het Laat Krijt tot vroegste Tertiair gereconstrueerd. Dit gebeurt aan de hand van de resultaten uit hoofdstuk 2. In verspreiding en diktekaarten van de Chalk Groep (o.a. Fig. 3.1) is een duidelijke onderverdeling in verschillende gebieden te ontdekken, die hier ‘provincies’ worden genoemd (paragraaf 3.2). Deze “provincies” zijn oudere, meerendeels vroeg-Mesozoïsche, structurele elementen van het Noordzeebekken (Fig. 1.8). Deze zijn gedurende de afzetting van de krijtkalk in meer of mindere mate zijn gedaald of opgeheven, met grote dikteverschillen in het krijtkalkpakket tot gevolg. Een belangrijk aspect van de ontwikkeling van het Noordzeebekken is dat gedurende deze periode een aantal grote compressiefases optraden. Deze hielden verband met de zich op dat moment ope-

nende noordelijke Atlantische Oceaan, alsmede de nadering van het Afrikaanse tot het Eurasische continent. Als gevolg van deze compressiefasen werden gebieden die tot dusver waren gedaald, en waarin zich dientengevolge grote hoeveelheden sediment hadden afgezet, opgeheven. Dit proces wordt inversietektoniek genoemd. De Centrale Noordzeeslenk (Central Graben, CG in Fig. 3.1 en Fig. 3.7) en het Breeveertien Bekken (BFB in Fig. 3.1) zijn hiervan in het Nederlandse Noordzeegebied de belangrijkste voorbeelden. Als gevolg van die opheffing ontbreken krijtkalkafzettingen in deze gebieden. Veel gebieden welke voordien stabiele hogen vormden daalden gedurende het Laat Krijt tot vroeg Tertiair, met de afzetting van dikke pakketten krijtkalk tot gevolg. De gebieden aan weerszijden van het Breeveertien Bekken en het Schill Grund Hoog (SGH in Fig. 3.1) zijn daarvan de belangrijkste voorbeelden.

De eerder beschreven compressieve tektonische krachten hebben op veel plaatsen geresulteerd in de opstuwing (*diapirisme*) van dieperliggende zoutlagen tot zoutkoepels, zoals deze te zien zijn op Fig. 3.7. De koepelvormige deformatie van de krijtkalklagen en het daardoor veroorzaakte breken van het gesteente, alsmede de aanwezigheid van overliggende vloeistofondoorlatende Tertiaire kleien, maken deze structuren tot interessante doelen voor de exploratie van olie en gas in de gehele Noordzee regio. Het zgn. “Hanze”-veld vormt echter het enige Chalk olieveld in de Nederlandse sector tot nu toe (Fig. 3.7).

Uit nauwkeurige bestudering van (3D-) seismische secties van een deel van de Centrale Noordzeeslenk blijkt dat opheffing naast erosie van sediment ook in grote aardverschuivingen heeft geresulteerd. Voorbeelden hiervan zijn te zien in de figuren 3.10 en 3.11. Kleinschaliger sedimentbewegingen dan op seismische secties is waar te nemen kwamen waarschijnlijk ook veel voor, en vormen deels het onderwerp van het volgende hoofdstuk.

Hoofdstuk 4 *Metre-scale cyclicity in well logs of the Chalk Group, Netherlands North Sea area* behandelt de resultaten van een frequentieanalyse uitgevoerd op boorgatmetingen door het Chalk interval. Het doel van een frequentieanalyse is periodieke herhalingen in een meetreeks op te sporen. In dit hoofdstuk betreft dat vooral metingen van de voortplantingsnelheid van geluid door het gesteente (*sonic logs*), hier te gebruiken als maat voor de dichtheid, en metingen van natuurlijke radioactiviteit (*gamma-ray logs*). Hierbij wordt ervan uitgegaan dat periodieke herhalingen (cycli) van de gemeten petrofysische eigenschappen de weergave zijn van klimaatschommelingen tijdens de afzetting van het gesteente. Deze klimaatschommelingen zijn op hun beurt het gevolg van de periodieke variatie in de baan van de aarde en de daardoor ontstane variatie in de afstand van de aarde tot de zon (Fig. 4.1).

De resultaten van een frequentieanalyse worden hier weergegeven door middel van een frequentiespectrum welke op elk punt de golflengte van periodieke variaties

---

weergeeft die aanwezig zijn binnen een interval van 40 meter. Dikkere gesteenteintervallen waarin een continu cyclisch signaal aanwezig is worden zichtbaar gemaakt door oplijning van de frequentiepieken tot de rode lijnen zoals die in interval 6 van boring F15-1 (Fig. 4.6). Uit de analyses blijkt de veelvuldige aanwezigheid van een cyclische dichtheidsvariatie met een golflengte van 5 tot 10 meter, alsmede minder vaak voorkomende kortere cycli. De aldus aangetoonde cycliciteit wijst erop dat dit gesteente bewaard is gebleven zoals het destijds door neerslag van kalkdeeltjes uit het zeewater gevormd is, al dan niet na verplaatsing door stromingen. De afwezigheid van cycliciteit wijst daarentegen op de werking van chaotische sedimentatieprocessen zoals de aardverschuivingen van figuren 3.10 en 3.11. Het voornamelijk chaotische logpatroon van boringen in de Centrale Noordzeeslenk en aan weerszijden van het Breeveertien Bekken geeft dan ook aan dat de Chalk hier voornamelijk uit verschoven sedimentpakketten bestaat, waarschijnlijk afkomstig van de naastgelegen opgeheven gebieden (Fig. 4.5).

Een in meerdere boringen teruggevonden graduele afname in cyclisdikte naar boven, dus naar jonger sediment, toe wijst op een regionale afname van de productie van kalkmateriaal die zich over een zeer lange periode moet hebben afgespeeld. Deze afname is wederom het best te zien in interval 6 van boring F15-1 als het naar rechts (richting kortere golflengtes) opschuiven van de frequentiepiek (Fig. 4.6).

Omdat de verhoudingen tussen de periodes van verschillende astronomische cycli bekend zijn kunnen de golflengteverhoudingen tussen in het gesteente aangetroffen cycli gebruikt worden voor de identificatie van een astronomisch geïnduceerd klimaatsignaal. Deze verhoudingen en correlatie met ouderdomsgegevens doen vermoeden dat de 5 tot 10 meter lange cyclische dichtheidsvariëaties de geologische weergave zijn van een 100.000 jaar durende excentriciteitcyclus (Fig. 4.1).

In hoofdstuk 5 *Acoustic velocity and burial history analysis of the Chalk Group, Netherlands North Sea area* wordt de akoestische of geluidssnelheid en begravingscompactie van de Chalk sedimenten behandeld. Sediment raakt bij begraving door de toenemende (lithostatische) druk samengeperst, waarbij de hoeveelheid grondwater geleidelijk minder wordt (Figuren 1.11 en 1.12). De aldus toenemende dichtheid van het sediment zorgt voor een evenredige toename in voortplantingsnelheid van geluid. Deze geluidssnelheid, zoals gemeten met sonic logs of bepaald met behulp van seismische secties, vormt dus een graadmeter voor de begravingsdiepte. Het vaststellen van de normale mate van compactie met diepte is voor de Chalk geen eenvoudige zaak, zoals blijkt uit de veelheid aan compactiecurves die tijdens eerdere studies zijn vastgesteld (Fig. 5.1).

In deze studie is de dichtheid van de Chalk op een groot aantal plaatsen door het gehele Nederlandse Noordzeegebied vastgesteld als de geluidssnelheid (hier  $V_{int}$  in m/s). Uitgezet tegen begravingsdiepte laten deze een duidelijke toename zien,

hoewel met een aanzienlijke verspreiding (Figuren 5.6 en 5.8). Er blijkt naast diepte echter ook een duidelijke relatie te bestaan tussen akoestische snelheid en geografische positie van de meting zodat een aantal clusters in de data kan worden herkend (vier in Fig. 5.6 en drie in Fig. 5.8).

De relatief lage snelheden in het noorden van het studiegebied wijzen erop dat het sediment hier minder is gecompacteerd dan op basis van de begravingsdiepte zou mogen worden verwacht. Dit is waarschijnlijk een gevolg van de relatief snelle begraving onder waterondoorlatende kleien gedurende het Tertiair. Dit zorgde ervoor dat grondwater in de krijtkalklagen werd vastgehouden, en de porositeit van het gesteente aldus naar verhouding hoog bleef. De relatief hoge intervalsnelheden in het zuiden van het studiegebied wijzen erop dat het sediment in deze regio is opgeheven na eerst op grotere diepte begraven te zijn geweest. Hierdoor is het meer gecompacteerd dan op de aangetroffen diepte zou zijn verwacht.