

Rijks Geologische Dienst **RGD**

Toelichting bij kaartblad V Sneek-Zwolle

Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland

Toelichting bij kaartblad V Sneek-Zwolle

Voorwoord 5

1 Inleiding 7

- 1.1 Begrenzing van het gebied 7
- 1.2 Exploratiegeschiedenis en gegevensbestand 7
- 1.3 Opzet van het onderzoek 10
 - 1.3.1 Seismische kartering 10
 - 1.3.2 Geologisch onderzoek 10
 - 1.3.3 Petrofysisch onderzoek 12
 - 1.3.4 Geochemisch onderzoek 15
- 1.4 Kaarten en profielen 15
- 1.5 Toelichting 15
- 1.6 Samenvatting 16
 - 1.6.1 Stratigrafische opeenvolging 16
 - 1.6.2 Structurele elementen 17
 - 1.6.3 Structurele geologie 18

2 Limburg Groep 20

- 2.1 Stratigrafie 20
 - 2.1.1 Coal Measures 20
 - 2.1.2 Tubbergen Zandsteen Formatie 23
- 2.2 Stollingsgesteenten in het Carboon 23
- 2.3 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie 24

3 Boven-Rotliegend Groep 26

- 3.1 Stratigrafie 26
 - 3.1.1 Slochteren Zandsteen Formatie 29
 - 3.1.2 Silverpit Kleisteen Formatie 30
- 3.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie 30
- 3.3 Petrofysische evaluatie 31

4 Zechstein Groep 35

- 4.1 Stratigrafie 35
 - 4.1.1 Zechstein 1 Formatie 38
 - 4.1.2 Zechstein 2 Formatie 39
 - 4.1.3 Zechstein 3 Formatie 40
 - 4.1.4 Zechstein 4 Formatie 40
 - 4.1.5 Boven-Zechstein Kleisteen Formatie 42
- 4.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie 42
- 4.3 Zoutkussens 44
- 4.4 Petrofysische evaluatie 46

5 Onder- en Boven-Germaanse Trias Groepen 48

- 5.1 Algemeen 48
- 5.2 Onder-Germaanse Trias Groep 49
 - 5.2.1 Stratigrafie 49
 - 5.2.1.1 Onder-Bontzandsteen Formatie 49
 - 5.2.1.2 Hoofd-Bontzandsteen Formatie 50
- 5.3 Boven-Germaanse Trias Groep 52

5.3.1	Stratigrafie	52
5.3.1.1	Röt Formatie	52
5.3.1.2	Muschelkalk Formatie	54
5.3.1.3	Keuper Formatie	54
5.4	Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie	55
5.5	Reservoir-geologische aspecten	55
6	Altena Groep	57
6.1	Stratigrafie	57
6.1.1	Sleen Schalie Formatie	57
6.1.2	Aalburg Schalie Formatie	57
6.1.3	Werkendam Formatie	58
6.2	Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie	58
7	'Boven-Jura' Groep	59
7.1	Algemeen	59
7.2	Central Graben Groep	60
7.2.1	Stratigrafie	60
7.2.1.1	Delfland Formatie	61
7.3	Nedersaksen Groep	61
7.3.1	Stratigrafie	61
7.3.1.1	Weiteveen Formatie	61
7.3.1.2	Coevorden Formatie	63
7.4	Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie	63
8	Rijnland Groep	64
8.1	Stratigrafie	64
8.1.1	Vlieland Formatie	66
8.1.2	Holland Formatie	68
8.2	Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie	69
8.3	Petrofysische evaluatie	73
9	Krijtkalk Groep	74
9.1	Stratigrafie	74
9.1.1	Texel Krijtkalk Formatie	74
9.1.2	Ommelanden Krijtkalk Formatie	75
9.2	Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie	75
9.3	Reservoir-geologische aspecten	77
10	Noordzee Supergroep	78
10.1	Stratigrafie	78
10.1.1	Onder-Noordzee Groep	80
10.1.2	Midden-Noordzee Groep	81
10.1.3	Boven-Noordzee Groep	82
10.2	Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie	83
10.3	Reservoir-geologische aspecten	83
11	Geologische geschiedenis	84
11.1	Inleiding	84

11.2	Structurele geologie	85
11.3	Geochemische evaluatie en begravingsgeschiedenis	88
11.3.1	Algemeen	88
11.3.2	Resultaten	90
11.4	Bekkenontwikkeling, sedimentatie en tektoniek	94
11.4.1	Laat-Carboon	94
11.4.2	Perm	95
11.4.3	Trias	96
11.4.4	Jura	97
11.4.5	Krijt	99
11.4.6	Kenozoïcum	100

Appendices 103

Appendix A:	Overzicht gebruikte seismiek	105
Appendix B:	Overzicht gebruikte boringen	106
Appendix C:	Reservoirsommities Boven-Rotliegend Groep	109
Appendix D:	Show, status en testgegevens Boven-Rotliegend	111
Appendix E:	Reservoirsommities Zechstein 2 Carbonaat	113
Appendix F:	Show, status en testgegevens Zechstein 2 Carbonaat	114
Appendix G :	Reservoirsommities Vlieland Zandsteen	115
Appendix H :	Show, status en testgegevens Vlieland Zandsteen	116
Appendix I:	Slijpplaten	118

Referenties 121

Literatuurreferenties	121
Interne rapporten van de Rijks Geologische Dienst	125

Kaarten en profielen

Kaart 1:	Diepte van de basis van de Boven-Rotliegend Groep
Kaart 2:	Diepte van de basis van de Zechstein Groep
Kaart 3:	Diepte van de top van de Zechstein Groep
Kaart 4:	Dikte van de Zechstein Groep
Kaart 5:	Diepte van de basis van de Onder-Germaanse Trias Groep
Kaart 6:	Dikte van de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groepen
Kaart 7:	Diepte van de basis van de Altena Groep
Kaart 8:	Dikte van de Altena Groep
Kaart 9:	Diepte van de basis van de 'Boven-Jura' Groep
Kaart 10:	Dikte van de 'Boven-Jura' Groep
Kaart 11:	Diepte van de basis van de Rijnland Groep
Kaart 12:	Dikte van de Rijnland Groep
Kaart 13:	Diepte van de basis van de Krijtkalk Groep
Kaart 14:	Dikte van de Krijtkalk Groep
Kaart 15:	Diepte van de basis van de Noordzee Supergroep
Kaart 16:	Afgedekte geologische kaart onder de basis van de Rijnland Groep
Kaart 17:	Afgedekte geologische kaart onder de basis van de Noordzee Supergroep
Kaart 18:	Structurele profielen

Eén van de hoofdtaken van de Rijks Geologische Dienst is het verzamelen van kennis omtrent de geologie van Nederland. Het publiek maken hiervan vindt ondermeer plaats in de vorm van kaarten en toelichtingen daar op. Tot voor enkele jaren heeft de Rijks Geologische Dienst zich beperkt tot het uitbrengen van kaarten met toelichting van de ondiepe geologie van Nederland en de Noordzee.

Dat het publiek beschikbaar maken van de RGD-kennis betreffende de diepe geologie (dieper dan 500 m) slechts in beperkte mate plaats vond, heeft te maken met de status van de benodigde gegevens. Deze gegevens worden verkregen uit diepe boringen en seismisch onderzoek, zoals bijna uitsluitend uitgevoerd door oliemaatschappijen. Vanwege de grote commerciële belangen in de olie-industrie zijn deze gegevens van confidentiële aard, maar deze gegevens worden aan de Rijks Geologische Dienst ter beschikking gesteld in het kader van mijnwettelijke verplichtingen. De bestaande mijnwetgeving, die voor het Nederlands Territoir van toepassing is, laat vrijgave van deze confidentiële gegevens niet toe. Afspraken met de maatschappijen omtrent het gebruik van deze gegevens maken het mogelijk dat de Rijks Geologische Dienst deze gegevens bewerkt en de resultaten daarvan publiceert, mits de gegevens ouder zijn dan 10 jaar. Voor gegevens afkomstig uit concessiegebieden geldt een beperking van 5 jaar. Deze afspraak maakt het mogelijk dat de RGD toch een bredere bekendheid kan geven aan de geologische opbouw van de diepe ondergrond van Nederland.

Het kaartblad Sneek-Zwolle van de Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland is het vierde kaartblad dat wordt uitgebracht in het kader van een systematische kartering van de diepe ondergrond van Nederland. Voor deze kartering is Nederland verdeeld in 15 kaartbladen, die op schaal 1:250.000 uitgebracht worden (zie figuur 1.1 voor de kaartbladindeling). In het jaarverslag van de Rijks Geologische Dienst wordt steeds een overzicht gegeven van de stand van zaken van deze kartering.

Ieder kaartblad heeft zijn eigen karakteristieken. Het voor u liggende blad toont de geologie van een belangrijk deel van de provincies Friesland en Overijssel. Het dominante Texel-IJsselmeer Hoog, waarvan de invloed op vele kaarten herkenbaar is vormt niet alleen de structurele kern van dit kaartblad, maar ook van Nederland. Het vormde gedurende vele miljoenen jaren een belangrijk scheidend element tussen het relatief stabiele noordoosten van Nederland en het sterk aan daling en opheffing onderhevige zuidwesten. Opvallend is het grote aantal gasvoerende niveaus ten (noord)-oosten van het hoog. Hier zijn reservoirs aangetroffen in Permische duinzanden en kalken en in fluviatiele en ondiep-mariene zandsteenlagen uit Trias, Krijt en Tertiair. In het uiterste noordwesten van het blad ligt het enige gasveld dat tot op heden in Boven-Krijt kalken werd aangetroffen. In het oosten van het kaartblad treden de eerste zoutkussens op als aanzet naar de grote zoutprovincie van noordoostelijk Nederland.

De Rijks Geologische Dienst spreekt de verwachting uit dat dit kaartblad, samen met de reeds uitgebrachte en nog te publiceren kaartbladen, een bijdrage kan leveren aan een grotere bekendheid met en inzicht in de opbouw en samenstelling van de diepe ondergrond van Nederland. Dit is niet alleen van belang voor maatschappijen die actief zijn op het terrein van delfstoffenexploratie en -winning, maar ook voor de rijksoverheid, lagere overheden, semi-overheidsinstellingen en andere non-gouvernementele organisaties. Immers, de laatste jaren worden deze meer en meer geconfronteerd met vragen die betrekking hebben op de eventuele gevolgen van winning van delfstoffen en op de overige mogelijkheden die de diepe ondergrond van Nederland te bieden heeft. Hierbij kan onder andere worden gedacht aan de problematiek van afvalberging, energieopslag en aardwarmte als alternatieve bron van energie.

De toelichting bij deze kaarten is niet alleen gericht op de bij bedrijfsleven of overheid werkende aardwetenschapper, maar is evenzeer van belang voor onderwijs, wetenschap en de geïnteresseerde amateurgeoloog.

Naast de in het colofon genoemde medewerkers, die inhoudelijk verantwoordelijk zijn voor dit kaartblad, zijn bij het tot stand komen ervan veel medewerkers van de Rijks Geologische Dienst betrokken geweest, waarbij in het bijzonder de bijdrage van N. Witmans wordt vermeld. Haar inzet stel ik op hoge prijs. De relevante en opbouwende kritiek van Dr. W.J.M. van der Linden en van de leescommissie heeft veel bijgedragen aan de kwaliteit van de toelichting.

Speciale dank zijn wij verschuldigd aan Amoco, Chevron, Conoco, Elf Petroland, NAM, Placid en Superior. Gegevens van al deze maatschappijen zijn bij de samenstelling van dit kaartblad gebruikt.

Chr. Staudt,
Direkteur

1 Inleiding

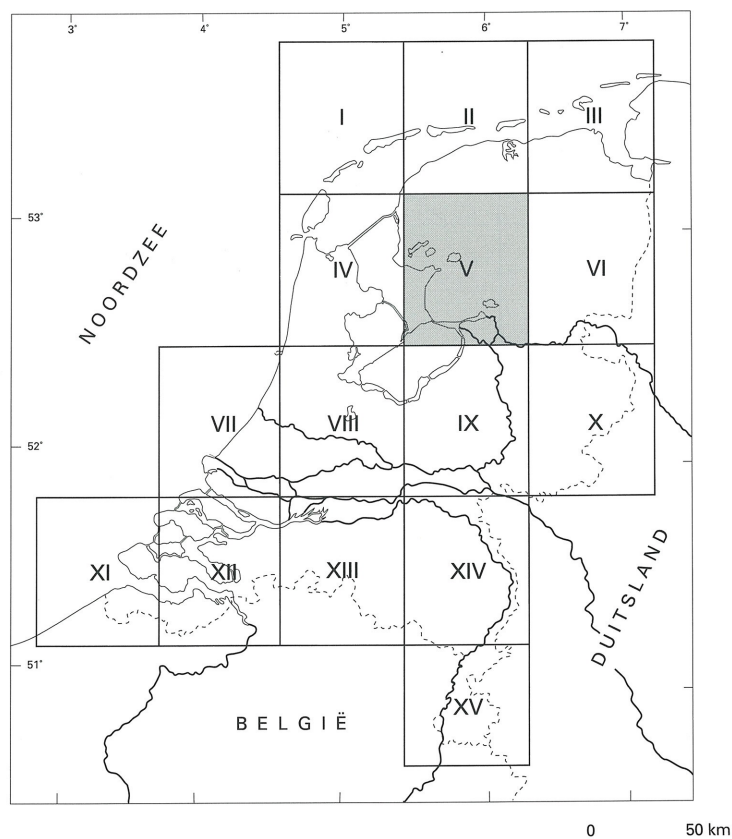
1.1 Begrenzing van het gebied.

Het kaartblad V (Sneek - Zwolle) omvat het zuidelijk deel van de provincie Friesland, het oostelijk deel van het IJsselmeer, het noordelijke deel van de provincie Flevoland, het westelijke deel van de provincie Drenthe en het noordwesten van de provincie Overijssel (fig. 1.1).

1.2 Exploratiegeschiedenis en gegevensbestand.

Sinds 1959 bestaat er interesse voor exploratie in de gebieden direct ten zuiden van Leeuwarden. Het exploratiedoel was, na de ontdekking van het gigantische Groningen gasveld, in eerste instantie de Slochteren Zandsteen, de gasvoerende eenheid van het Boven-Rotliegend. De oliemaatschappijen verwachtten van deze formatie de beste resultaten. Gedurende exploratie-activiteiten in de '60-er en '70-er jaren bleken echter ook de zanden van het Onder-Krijt en carbonaten van de Zechstein prospectief te zijn. In het De Wijk veld hebben eveneens het Carboon, de Trias en het Tertiair gas geproduceerd. In figuur 1.2 wordt een overzicht gegeven van de per 1-1-1993 aangetoonde koolwaterstofvoorkomens binnen het kaartbladgebied. De meeste vondsten

Figuur 1.1 Kaartbladindeling van de regionale kartering van de diepe ondergrond van Nederland en ligging van kaartblad V.



I	Vlieland-Terschelling	IX	Harderwijk-Nijmegen
II	Ameland-Leeuwarden	X	Almelo-Winterswijk
III	Rottumeroog-Groningen	XI	Middelburg-Breskens
IV	Texel-Purmerend	XII	Roozendaal-Terneuzen
V	Sneek-Zwolle	XIII	Breda-Valkenswaard
VI	Veendam-Hoogeveen	XIV	Oss-Roermond
VII	Noordwijk-Rotterdam	XV	Sittard-Maastricht
VIII	Amsterdam-Gorinchem		

Figuur 1.2 Overzichtskaart van de binnen het kaartbladgebied vallende concessiegebieden, met tussen haakjes de operator. De aangetoonde gasvelden (per 1-1-1993) zijn genummerd. Achter ieder veld staat de stratigrafische eenheid van het reservoir aangegeven.

Concessies

I Leeuwarden (Elf Petroland)

- | | | |
|---|-------------|------------------|
| 1 | Harlingen 2 | Krijtkalk |
| 2 | Nijega | Zechstein |
| 3 | Middelburen | Boven-Rotliegend |
| 4 | Leeuwarden | Boven-Rotliegend |

II Tietjerksteradeel (NAM)

- | | | |
|---|-----------|------------------|
| 5 | Ureterp | Boven-Rotliegend |
| 6 | Friesland | Vlieland |

III Groningen (NAM)

- | | | |
|----|-------------|------------------|
| 7 | Marumerlage | Boven-Rotliegend |
| 8 | Opde Oost | Boven-Rotliegend |
| 9 | Marum | Boven-Rotliegend |
| 10 | Zevenhuizen | Boven-Rotliegend |

IV Akkrum (Chevron)

- | | | |
|----|-----------|---|
| 11 | Akkrum 1 | Boven-Rotliegend |
| 12 | Akkrum 11 | Boven-Rotliegend
Zechstein 2 Carbonaat |
| 13 | Akkrum 3 | Boven-Rotliegend, |

- | | | |
|----|-----------|--|
| 14 | Akkrum 13 | Boven-Rotliegend,
Zechstein 2 Carbonaat |
|----|-----------|--|

V Oosterend (Elf Petroland)

- | | | |
|----|-------|----------|
| 15 | Bozum | Vlieland |
|----|-------|----------|

VI Gorredijk (Elf Petroland)

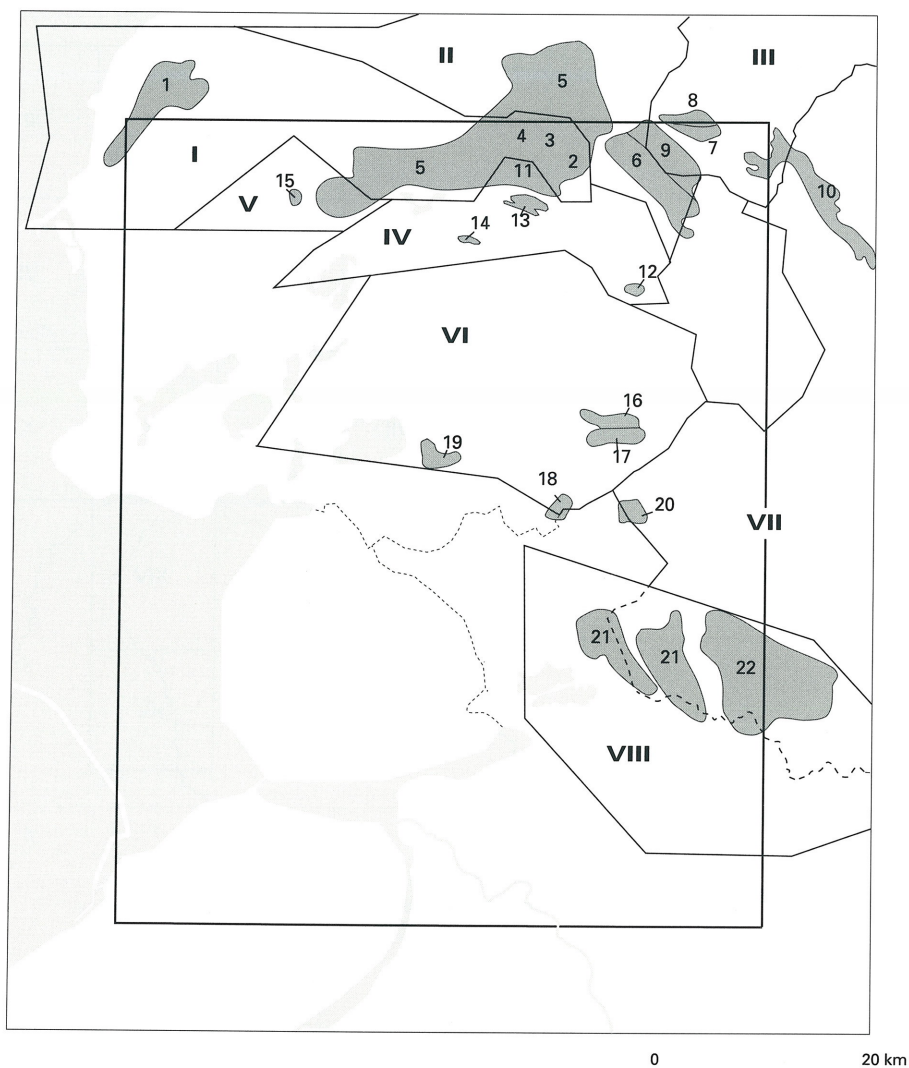
- | | | |
|----|------------------|-------------------------|
| 16 | Weststellingwerf | Zechstein 2 Carbonaat |
| 17 | Noordwolde | Vlieland |
| 18 | De Blesse | Zechstein 3-4 Carbonaat |
| 19 | Oldelamer | Zechstein 2 Carbonaat |

VII Drenthe (NAM)

- | | | |
|----|------------|---|
| 20 | Nijensleek | Zechstein 2 Carbonaat (olie),
Vlieland |
|----|------------|---|

VIII Schoonebeek (NAM)

- | | | |
|----|--------------|--|
| 21 | Wanneperveen | Zechstein 2 Carbonaat,
Rogenstein, Vlieland,
Basale Tuffiet van Dongen |
| 22 | De Wijk | Limburg, Rogenstein,
Vlieland, Basale Tuffiet van
Dongen |



bevinden zich in het noorden van het kaartbladgebied. Bij het aanboren van de zandstenen van de Boven-Rotliegend Groep en de Vlieland Formatie werden de beste resultaten geboekt.

De gegevens die gebruikt zijn om dit kaartblad te vervaardigen zijn voor het grootste deel afkomstig van oliemaatschappijen. Het betreft de geofysische en geologische data, voornamelijk reflectieseismiek en boorgegevens, die de afgelopen decennia zijn verzameld om koolwaterstofvoorkomens op te sporen.

In het noordelijke deel van het kaartbladgebied is veel seismiek geschoten. In de concessiegebieden Leeuwarden en Schoonebeek zijn veel boorgatgegevens beschikbaar van de vele produktieboringen die hier in clusters liggen. De putdichtheid en de seismische bedekking is niet homogeen verdeeld over het kaartblad. In het noorden en het oosten van het kaartbladgebied is de putdichtheid hoger en de seismische bedekking beter dan in het zuiden en het westen (fig. 1.3 & 1.4).

Figuur 1.3 Lokatiekaart van de gebruikte seismische lijnen. Appendix A geeft nadere informatie omtrent de eigenaar en de ouderdom van de verschillende lijnen.



1.3 Opzet van het onderzoek.

1.3.1 Seismische kartering

De kartering is uitgevoerd met een seismisch lijnengrid van ongeveer 4 bij 4 km. In de zuid-westelijke hoek van het kaartblad en in het zuidelijke gedeelte van de provincie Friesland wordt deze bedekking in verband met de kwaliteit en de beschikbaarheid van de gegevens niet gehaald. Voor de compilatie van de verschillende kaarten zijn ca. 250 niet-gemigreerde seismische lijnen gebruikt (appendix A & fig. 1.3). Deze seismische lijnen variëren in lengte van 3 tot 30 km.

De gekarteerde reflectoren vormen de grensvlakken tussen de lithostratigrafische eenheden. Calibratie van de seismische gegevens met de geïnterpreteerde boorgatmetingen is uitgevoerd middels akoestische logs en putschietgegevens. De tijd-diepte omzetting van de seismische gegevens is per laag uitgevoerd (de zgn. 'layer-cake methode'). Hiervoor is per laag een lineair verband aangenomen tussen de snelheid en de diepte van de laag :

$$V_z = V_0 + k.z \text{ (zie tabel 1a onder a)}$$

Een uitzondering hierop wordt gemaakt voor de Zechstein Groep. Door de specifieke lithologische opbouw van deze groep is voor een hyperbolisch verband tussen de intervalsnelheid en het tijdsinterval gekozen:

$$V_{\text{int}} = a + [d/(\delta t - b)]^c \text{ (zie tabel 1a onder b)}$$

Om een goede aansluiting van de dieptekaarten van naast elkaar liggende kaartbladen te krijgen, is een landelijke snelheidsverdeling gemaakt, die voor alle kaartbladen wordt toegepast. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen geïnvverteerde en niet-geïnvverteerde structurele eenheden. De snelheidsverdeling van tabel 1a is toegepast op niet-geïnvverteerde gebieden, zoals het Friesland Platform en het Texel-IJsselmeer Hoog. In tabel 1b staan de aanpassingen van snelheden vermeldt zoals die gebruikt zijn voor de geïnvverteerde gebieden, zoals het Centraal-Nederlands Bekken. De parameters van de landelijke snelheidsverdeling zijn bepaald uit akoestische gegevens van 65 boringen, die over heel Nederland verspreid liggen.

1.3.2 Geologisch onderzoek

Het geologisch onderzoek richtte zich op de lithostratigrafische opbouw van de binnen het kaartblad aanwezige gesteenten (fig. 1.5) en hun geologische geschiedenis tegen de achtergrond van de regionale ontwikkelingen. Figuur 1.6 geeft de indeling van de geologische tijdschaal die in deze toelichting gebruikt is (Harland et al., 1990). In deze figuur staan tevens de tektonische fasen die in deze toelichting genoemd en besproken worden. Appendix B geeft een overzicht van de gebruikte boringen die zijn weergegeven in figuur 1.4. Voor deze toelichting zijn 108 boringen gebruikt.

Tabel 1a: Toegepaste snelheidsverdelingen voor niet-geïnverteerde gebieden.

a. gebaseerd op $V_z = V_0 + k \cdot z$

V_z = formatie-/groepsnelheid op diepte z (m/s)

V_0 = formatie-/groepsnelheid op diepte 0 (m/s)

k = constante (1/s)

z = diepte (m)

Eenheid	V_0	k
Noordzee Supergroep	1696	0.49
Krijtkalk Groep	2092	1.08
Holland Formatie	2020	0.63
Vlieland Formatie	2051	0.41
Jura afzettingen	1507	0.82
Onder- en Boven-Germaanse Trias Groepen	2293	0.69

b. gebaseerd op $V_{int} = a + [d/(\delta t - b)]^c$

V_{int} = intervalsnelheid (m/s)

δt = tijdsinterval Zechstein (s)

a = asymptoot intervalsnelheid (m/s)

b = asymptoot δt (s)

c = constante

d = constante (m)

Eenheid	a	b	c	d
Zechstein Groep	4410	- 0.018	1	47.36

Tabel 1b Aangepaste snelheidsverdeling voor geïnverteerde gebieden.

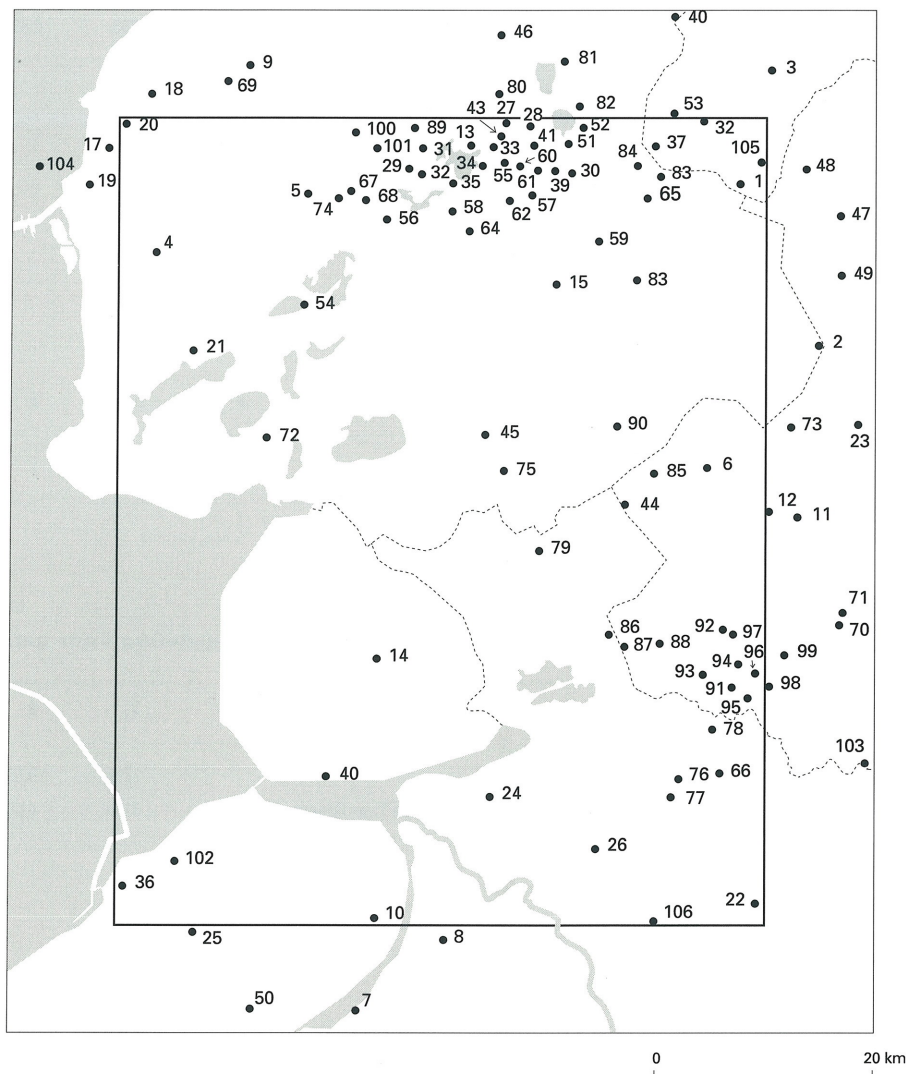
Eenheid	V_0	k
Jura afzettingen	2297	0.62
Onder- en Boven-Germaanse Trias Groepen	3254	0.56

In het uiterste zuiden van het kaartbladgebied is veel aandacht besteed aan structureel-geologische problemen. De geologische structuren zijn in dit gebied gecompliceerder dan het kaartbeeld doet vermoeden. Met de ontoereikende hoeveelheid seismiek wordt in de zuidwestelijke hoek van het kaartblad een geologische kaartbeeld gepresenteerd dat weliswaar in detail niet compleet is, maar waaruit wel een geologisch concept afgeleid kan worden. De gekarteerde structuren in deze zone hebben geleid tot de structureel-geologische interpretatie die in paragraaf 11.2 behandeld wordt.

1.3.3 Petrofysisch onderzoek

Naast het geologisch onderzoek is ook aandacht besteed aan de reservoir-eigenschappen van verschillende lithologische eenheden. Het kaartbladgebied heeft een grote verscheidenheid aan eenheden die produktief zijn (geweest). Gas- of oliehoudende reservoirgesteentes op het kaartbladgebied zijn: de Tubbergen Zandsteen, de Slochteren Zandsteen, de Zechstein Carbonaten,

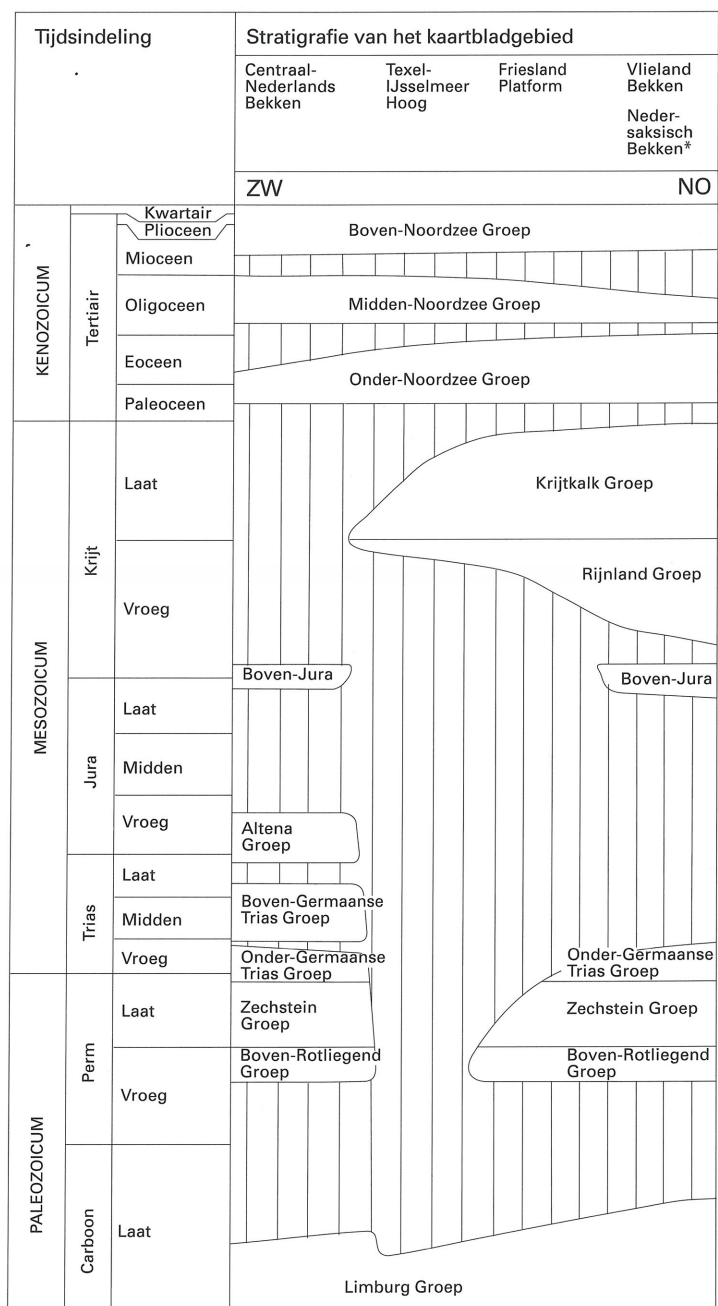
Figuur 1.4 Lokatiekaart van de boringen in het kaartbladgebied die gebruikt zijn bij de geofysische en geologische kartering. De nummering verwijst naar appendix B, waarin de naam van de eigenaar, de einddiepte en de ouderdom per boring vermeld wordt.



de Rogenstein, de Volprieausen Zandsteen, de Vlieland Zandsteen, de Ommelanden Krijtkalk en de Basale Dongen Tuffiet (fig. 1.2).

In de hoofdstukken over de Slochteren Zandsteen, de Zechstein 2 Carbonaat en de Vlieland Zandsteen is een petrofysische evaluatie opgenomen. In appendices C, E en G staan van deze gesteenten de effectieve porositeiten weergegeven. Vervolgens staan in de appendices D, F en H de resultaten van verschillende produktietesten getabelleerd. Van het Carboon, de Trias, de Krijtkalk en de Basale Dongen Tuffiet wordt slechts in het kort een aantal reservoir-geologische aspecten besproken.

Figuur 1.5 Schema van de binnen het kaartbladgebied aanwezige litho-stratigrafische eenheden.
(* In het Nedersaksisch Bekken is ook de Boven-Germaanse Trias Groep en de Altena Groep aanwezig).



Figuur 1.6 Geologische tijdschaal zoals in de toelichting gehanteerd (Harland et al., 1990). De in de tekst genoemde tektonische fasen zijn eveneens aangegeven.

Tijd in milj. jaren	Hoofdtijdperk	Periode	Tijdvak	Tijd	Orogenese
					Belangrijke tektonische fasen
1.64	KENOZOÏCUM	Kwartair	Holoceen/Pleistoceen	Reuverien	ALPIEN
			Pliocene	Brunssumien	
		Neogeen	Mioceen	Messinien	
				Tortonien	
				Serravallien	
				Langhien	
				Burdigalien	
				Aquitaniën	
				Chattien	
		Tertiair	Oligoceen	Rupelien	
				Priabonien	
			Eoceen	Bartonien	
				Lutetien	
				Ypresien	
			Paleoceen	Thanetien	
				Danien	
65	MESOZOÏCUM	Krijt	Laat-Krijt	Maastrichtien	Laramisch
				Campanien	Subhercynisch
				Santonien	ALPIEN
				Coniacien	
				Turonien	
				Cenomanien	
			Vroeg-Krijt	Albien	
				Aptien	
				Barremien	
				Hauterivien	
				Valanginien	
		Jura	Laat	Ryazanien	Laat-Kimmerisch II
				Portlandien	Laat-Kimmerisch I
			Midden	Kimmeridgien	ALPIEN
				Oxfordien	
				Callovien	
				Bathonien	
				Bajocien	
				Aalenien	
			Vroeg	Toarcien	
				Pliensbachien	
				Sinemurien	
		Trias	Laat	Hettangien	
				Rhaetien	
				Norien	Vroeg-Kimmerisch
			M	Carnien	ALPIEN
				Ladinien	
				Anisien	
		V	Bontzandsteen	Skythien	
245	PALEOZOÏCUM	Perm	Laat	Zechstein	Thuringien
			Vroeg	Rotliegend	Saxonien
					Autunien
			Laat	Silesien	Stefanien
					Westfalien
		Carboon	Vroeg	Dinantien	Namurien
					Viseen
			Laat	Tournaisien	Sudetisch
290		Carboon	Vroeg	Dinantien	Asturisch
363	PALEOZOÏCUM	Carboon	Vroeg	Dinantien	Bretons
					HERCYNISCH (VARISTISCH)

1.3.4 Geochemisch onderzoek

Vitrinietmetingen zijn uitgevoerd aan koolhoudende lagen van de Limburg Groep en van de Boven-Jura afzettingen en aan de Koperschalie van de Zechstein Groep ten einde de begravings-geschiedenis van het kaartbladgebied te reconstrueren. De werkmethode, de resultaten van de metingen en de uitgevoerde modelleringen worden behandeld in paragraaf 11.3.

1.4 Kaarten en profielen

De resultaten van de seismische kartering zijn weergegeven op een reeks dieptekaarten, diktekaarten en afgedekte kaarten op een schaal van 1:250.000. Dieptekaarten zijn gemaakt van de bases van de Boven-Rotliegend Groep, de Zechstein Groep, de Onder-Germaanse Trias Groep, de Altena Groep, de 'Boven-Jura' Groep, de Rijnland Groep, de Krijtkalk Groep en de Noordzee Supergroep. Omdat de basis van de Onder-Germaanse Trias niet in het gehele kaartbladgebied aanwezig is, is er een kaart gemaakt van de top van de Zechstein Groep.

Door de conversie van tijd naar diepte, met de landelijk bepaalde gemiddelde snelheidsverdeling, kunnen er verschillen optreden tussen de seismisch bepaalde diepte van een reflector en de overeenkomstige diepte die in een boring is aangetroffen. De dieptekaarten zijn voor de afwijkende boorgatwaardes niet gecorrigeerd.

Door de diepte van de basis van iedere stratigrafische eenheid met de diepte van de eenheid erboven te verminderen werd de diktekaart ervan verkregen. Dit met uitzondering van de basis Boven-Rotliegend kaart. Omdat de basis van het Rotliegend een slechte reflector is, is deze kaart gemaakt door een diktekaart van de Boven-Rotliegend Groep op te tellen bij de dieptekaart van de basis van de Zechstein Groep. Deze diktekaart van de Boven-Rotliegend Groep is gemaakt met behulp van boorgegevens en als tekstfiguur in de toelichting opgenomen (fig. 3.4). Op de diepte- en diktekaarten van Trias kunnen zich in het gearceerde gebied dunne erosieresten bevinden (Kaart 5 & 6). Hoewel deze seismisch niet karteerbaar bleken, zijn ze soms in boringen aangetroffen. De dieptekaart van de basis van de Noordzee Supergroep dient tevens als diktekaart.

Afgedekte kaarten zijn gemaakt van de geologie onder de basis van Rijnland Groep en onder de basis van de Noordzee Supergroep. Deze kaarten laten de stratigrafische eenheden zien die zich onder deze grote discordanties bevinden en geven een indruk van de mate van erosie tijdens de ermee corresponderende tektonische fasen.

Tenslotte is in drie geologische profielen de structuur en de ligging weergegeven van de hogen en de bekkens. De profielen hebben een NW-ZO of een NO-ZW oriëntatie en zijn zodanig gekozen dat zij aansluiten op de profielen van de omliggende kaartbladen.

1.5 Toelichting

De toelichting beoogt de informatie van de verschillende kaarten te ondersteunen en geeft daarmee een zo volledig mogelijk beeld van de geologie van het kaartbladgebied. De tekst bestaat uit twee delen.

In het eerste deel wordt een lithostratigrafische beschrijving gegeven van de gesteentevoorkomens binnen het kaartblad. Bij de beschrijving van de lithostratigrafie is de nadruk gelegd op de variatie binnen en de verbreiding van de verschillende groepen, formaties en laagpakketten. Figuur 1.5 is

een lithostratigrafisch diagram van alle aanwezige afzettingen. Namen en ouderdommen van de lithostratigrafische eenheden komen, tenzij anders vermeld, overeen met de Stratigraphic Nomenclature of The Netherlands (NAM & RGD, 1980). De lithostratigrafische opbouw en ontwikkeling worden per groep, van oud naar jong, behandeld in de hoofdstukken 2 t/m 10. Ieder hoofdstuk wordt afgesloten met een beschouwing over de sedimentaire ontwikkeling en de paleogeografie. De hoofdstukken zijn geïllustreerd met facieskaarten, dikteprofielen en boorgatmetingen. De bekkenreconstructies worden ondersteund door middel van logcorrelaties. Structureel-geologische aspecten worden, waar relevant, behandeld bij de sedimentaire ontwikkelingen. De Kenozoïsche sedimenten worden in één geheel als de Noordzee Supergroep besproken. Bovendien beperkt die beschrijving zich tot het Tertiair. Voor de beschrijving van de Kwartaire afzettingen wordt hier dan ook verwezen naar de 'Toelichting bij de Geologische kaart van Nederland 1:50.000' van de Rijks Geologische Dienst.

In het tweede deel (hoofdstuk 11) wordt de structureel-geologische opbouw en ontwikkeling van het kaartbladgebied aan de hand van begravingscurves van de belangrijkste structurele eenheden behandeld. Vervolgens wordt de geologische geschiedenis van het kaartbladgebied beschreven. Veel gebeurtenissen worden hierbij in een regionale context geplaatst.

1.6 Samenvatting

Het Texel-IJsselmeer Hoog heeft de sedimentaire processen en de structurele ontwikkeling van het studiegebied sterk beïnvloedt. Dit blijkt zowel uit de paleogeografie als uit de structureel-geologische aspecten.

1.6.1 Stratigrafische opeenvolging

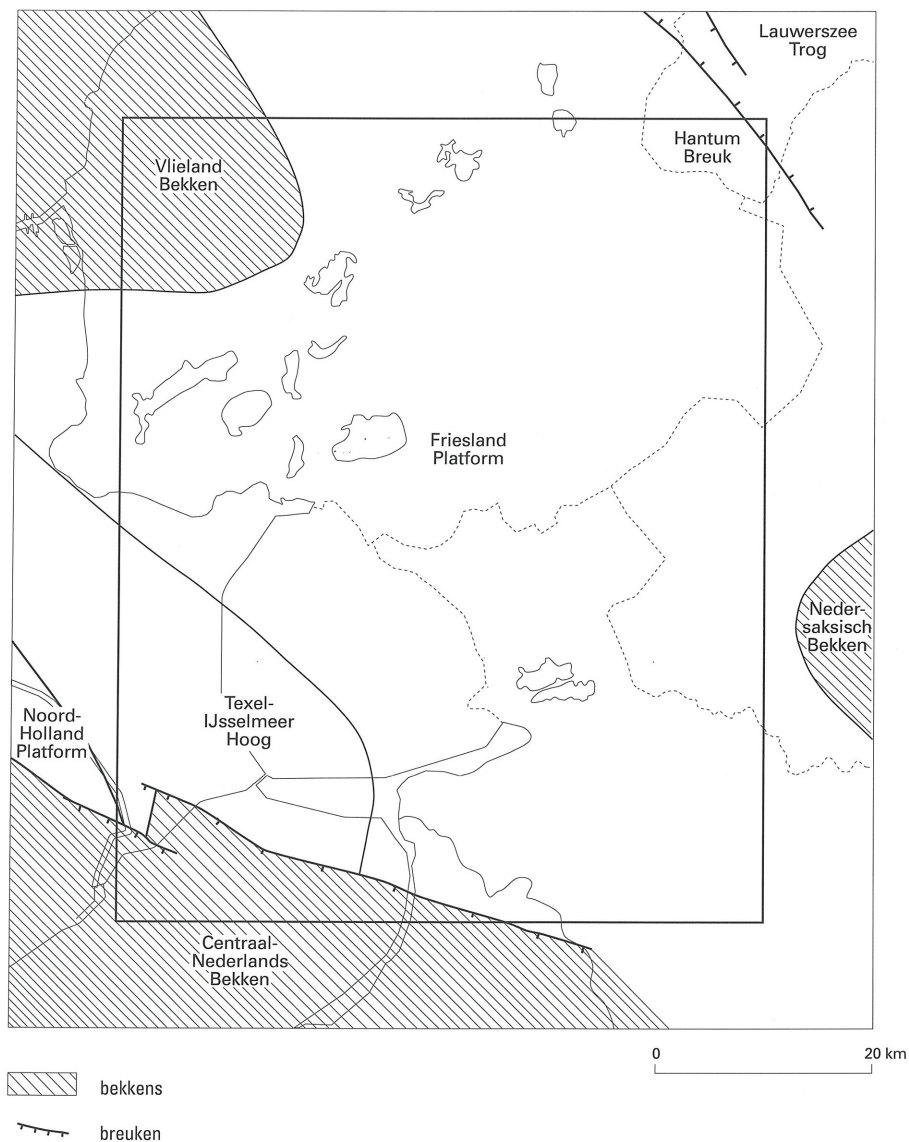
Sedimenten uit het Carboon zijn klastisch van aard en zijn afgezet door rivieren en in zoetwatermeren. De Boven-Rotliegend Groep is afgezet in het Vroeg-Perm aan de rand van een continentaal bekken in fluviatiele, eolische en lacustriene facies. Gedurende het Laat-Perm is de mariene Zechstein Groep afgezet in een aantal evaporitische cycli. In het kaartbladgebied zijn voornamelijk dikke pakketten met kalksteen en anhydriet tot ontwikkeling gekomen. Slechts in de centrale delen van de bekkens, in het zuiden en het noorden van het kaartbladgebied, is steenzout afgezet. De Onder-Germaanse Trias is klastisch van samenstelling en is afgezet in een continentaal (lacustrien en fluviatiel) milieu. De lithologische opbouw van de Boven-Germaanse Trias Groep (kleistenen, mergels, evaporieten en kalkstenen) weerspiegelt in toenemende mate een marien afzettingsmilieu, dat in het kaartbladgebied persisteerde tot in de Vroeg-Jura. De Keuper reflecteert een afzettingsmilieu met een hogere klastische influx. Door latere erosie zijn de afzettingen van de Boven-Germaanse Trias en van de Altena Groep nauwelijks meer aanwezig. Sedimenten van de Midden-Jura worden in het kaartbladgebied helemaal niet aangetroffen. Boven-Jura afzettingen worden aangetroffen in het Vlieland, het Centraal-Nederlands en het Nedersaksisch Bekken (fig. 7.1). Deze continentale sedimenten zijn voornamelijk opgebouwd uit zandige kleistenen en mergels, maar bevatten tevens kool- en kalksteenbanken. Gedurende het gehele Krijt werden mariene sedimenten afgezet. Zij worden verdeeld in de klastische sedimenten van de Rijnland Groep (Vroeg-Krijt) en de open-mariene kalkstenen van de Krijtkalk Groep (Laat-Krijt). De sedimenten van de Noordzee Supergroep zijn afgezet in het Kenozoïcum en zijn opgebouwd uit klastisch materiaal, dat deels onder mariene, deels onder continentale omstandigheden is afgezet.

1.6.2 Structurele elementen

De belangrijkste structurele elementen, die bepalend zijn voor de geologische geschiedenis van het kaartbladgebied, zijn het Centraal-Nederlands Bekken, het Vlieland Bekken en het Nedersaksisch Bekken, het Texel-IJsselmeer Hoog, het Friesland Platform en de Hantum Breuk (fig. 1.7). De elementen waren herhaaldelijk, zij het met verschillende expressies, actief.

Het *Centraal-Nederlands Bekken* wordt gedefinieerd door de aanwezigheid van Jura sedimenten en gekarakteriseerd door de afwezigheid van afzettingen van het Boven-Krijt. Het contact van dit bekken met het noordelijk gelegen Texel-IJsselmeer Hoog wordt gedefinieerd door afschuivingen met een verzet tot 1600 m. Door inversiebewegingen is het Centraal-Nederlands Bekken sterk opgeheven en daardoor sterk geërodeerd. Het *Vlieland Bekken* en het *Nedersaksisch Bekken* worden gedefinieerd door de aanwezigheid van Boven-Jura sedimenten. Deze twee bekkens zijn

Figuur 1.7 Bekkenstructuren en structurele elementen, die bij de geologische ontwikkeling binnen het kaartbladgebied een belangrijke rol hebben gespeeld.



tijdens de Laat-Jura en het Vroeg-Krijt ten opzichte het Texel-IJsselmeer Hoog en het Friesland Platform sterk gedaald.

Voorname bekkens zijn van elkaar gescheiden door het *Texel-IJsselmeer Hoog* en het *Friesland Platform*. Het Texel-IJsselmeer Hoog kenmerkt zich door de afwezigheid van sedimenten met een Laat-Perm tot en met Vroeg-Krijt (Aptien) ouderdom. De zuidrand van het Texel-IJsselmeer Hoog wordt, in tegenstelling tot de noordrand, door breuken gedefinieerd. Het Friesland Platform ligt direct ten noorden van het Texel-IJsselmeer Hoog en wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van Perm en Onder-Krijt sedimenten en de (gedeeltelijke) afwezigheid van Trias en Jura sedimenten. Zechstein zout is, in tegenstelling tot het Vlieland Bekken, het Nedersaksisch Bekken en het Centraal-Nederlands Bekken, niet op het Texel-IJsselmeer Hoog afgezet.

Het Friesland Platform wordt in het noordoosten van het kaartbladgebied begrensd door de zuidelijke uitloop van de *Hantum Breuk*. Deze oude, waarschijnlijk Varistische, breukzone manifesteert zich in het kaartbladgebied door slenkstructuren in de Tertiaire bedekking. Gedurende het Mioceen ontwikkelde zich in het zuidwesten van het kaartbladgebied het *Zuiderzee Diep* (fig. 11.1).

1.6.3 Structurele geologie

Aan tektonische fasen gerelateerde perioden van erosie veroorzaakten verscheidene hiaten in de stratigrafische opeenvolging. De namen van deze tektonische fasen staan in figuur 1.6 per orogenese gegroepeerd. De grootte van de hiaten en de plaats ervan in de lithostratigrafische kolom weerspiegelen het verloop van de structurele ontwikkeling binnen het kaartbladgebied (fig. 1.5).

De geologische geschiedenis wordt beschreven aan de hand van de binnen het kaartbladgebied onderscheiden structurele eenheden (fig. 1.7). In structureel-geologische zin neemt het Texel-IJsselmeer Hoog hierbij een prominente plaats in. Sedimentatie is in het kaartbladgebied sterk beïnvloed door de tektonische ontwikkeling van het Texel-IJsselmeer Hoog. Zowel de lokatie van de bekkenstructuren als de, tijdens de verschillende tektonische fasen gegenereerde, breukrichtingen worden door het Texel-IJsselmeer Hoog sterk beïnvloed.

Een goed beeld van de structurele geologie in het kaartbladgebied wordt gegeven door de figuren van hoofdstuk 11. Breukrichtingen variëren van N-Z, NW-ZO tot O-W. De Varistische breuken in het kaartbladgebied vertonen een WNW-OZO trend. De Kimmerische richting varieert van O-W tot NNW-ZZO. De assen van de bekkenstructuren rond het kaartbladgebied komen overeen met de eerder genoemde richtingen (ca. NW-ZO). De compressieve, Subhercynische en Laramische breuken in het zuiden van het kaartbladgebied hebben een NW-ZO trend en een relatief groot opschuivend verzet. In het noordoosten en het oosten van het kaartbladgebied komen NW-ZO tot NNO-ZZW strekkende Tertiaire afschuivingen voor langs oude basamentbreuken en op de flanken van zoutkussens.

Tijdens het Perm heeft het Texel-IJsselmeer Hoog grote invloed gehad op de sedimentologische processen en de dikte-ontwikkeling van de afzettingen. Een groot deel van de Trias sedimenten, die in het kaartbladgebied zijn afgezet, is later verwijderd door de Hardegse erosieve fase. Het Texel-IJsselmeer Hoog stak tijdens een groot gedeelte van de Kimmerische fase boven de erosiebasis uit, waardoor sedimenten van de Altena Groep tot en met de Limburg Groep werden geërodeerd. De Perm, Trias en Onder-Jura sedimenten zijn waarschijnlijk op het Texel-IJsselmeer met een

gecondenseerde dikte afgezet. Gedurende de Laat-Jura vormde zich ook het Friesland Platform, waar Onder-Krijt afzettingen rusten op sedimenten van Vroeg-Trias en Perm ouderdom.

Langs de noordelijke, oostelijke en de zuidelijke flank van het Texel-IJsselmeer Hoog ontstonden gedurende de Laat-Jura resp. het Vlieland Bekken, het Nedersaksisch Bekken en het Centraal-Nederlands Bekken. Deze fase van bekkenontwikkeling kwam tot stand onder invloed van een grootschalig extensioneel (Kimmerisch) spanningsregime, dat zich in heel Noordwest-Europa deed gelden. Door deze tektonische fase zijn de sedimenten van de 'Boven-Jura' Groep en het basale deel van de Rijnland Groep beperkt tot de genoemde bekkens.

Tijdens Subhercynische en de Laramische inversietektoniek werden de bekkens aan het eind van het Krijt opgeheven. Hierdoor werden in het Centraal-Nederlands Bekken alle Krijt en een gedeelte van de Jura afzettingen geërodeerd (Kaart 17). Regionale compressieve tektoniek reactiveerde oude breuken en zwaktezones tot opschuivingen. In het Vlieland Bekken was de inversietektoniek van veel minder belang dan in het Centraal-Nederlands Bekken.

2 Limburg Groep

2.1 Stratigrafie

De sedimenten van de Limburg Groep vormen de oudst aangeboorde afzettingen binnen het kaartbladgebied en worden in het kaartbladgebied onderverdeeld in de Coal Measures of Productive Measures en de Tubbergen Zandsteen Formatie. De Limburg Groep is in het gehele kaartbladgebied aanwezig. De lithologie bestaat voornamelijk uit een onregelmatige afwisseling van klei-, zand- en siltstenen en koollagen.

De sedimenten van de Limburg Groep die hier beschreven worden, zijn afgezet gedurende het Laat-Carboon (Westfalien A, B en C). De stratigrafische indeling van het Carboon berust veelal op palynologische dateringen en correlatie ervan kan worden uitgevoerd aan de hand van enkele intraformationele mariene niveau's, die middels boorgatmetingen kunnen worden onderscheiden. Het Sarnsbank niveau scheidt het Namurien C van het Westfalien A, het Wasserfall niveau het Vroeg-Westfalien A van het Laat-Westfalien A, het Catharina niveau het Westfalien A van het Westfalien B en het Aegir niveau markeert de grens tussen het Westfalien B en C (Thiadens, 1963; fig. 2.1).

De Limburg Groep wordt in het kaartbladgebied bijna overal discordant bedekt door de Boven-Rotliegend Groep van Vroeg-Perm ouderdom. Op het Texel-IJsselmeer Hoog wordt de Limburg Groep discordant bedekt door de Rijnland Groep (Kaart 16). In het zuidoosten van het kaartbladgebied, waar de Boven-Rotliegend Groep niet aanwezig is, worden Carboon sedimenten discordant bedekt door de Zechstein Groep. Een kaart van de basis van de Limburg Groep is niet gemaakt omdat, vanwege de grote diepte, dit niveau seismisch niet of nauwelijks herkenbaar is en omdat er te weinig boorgatgegevens over zijn.

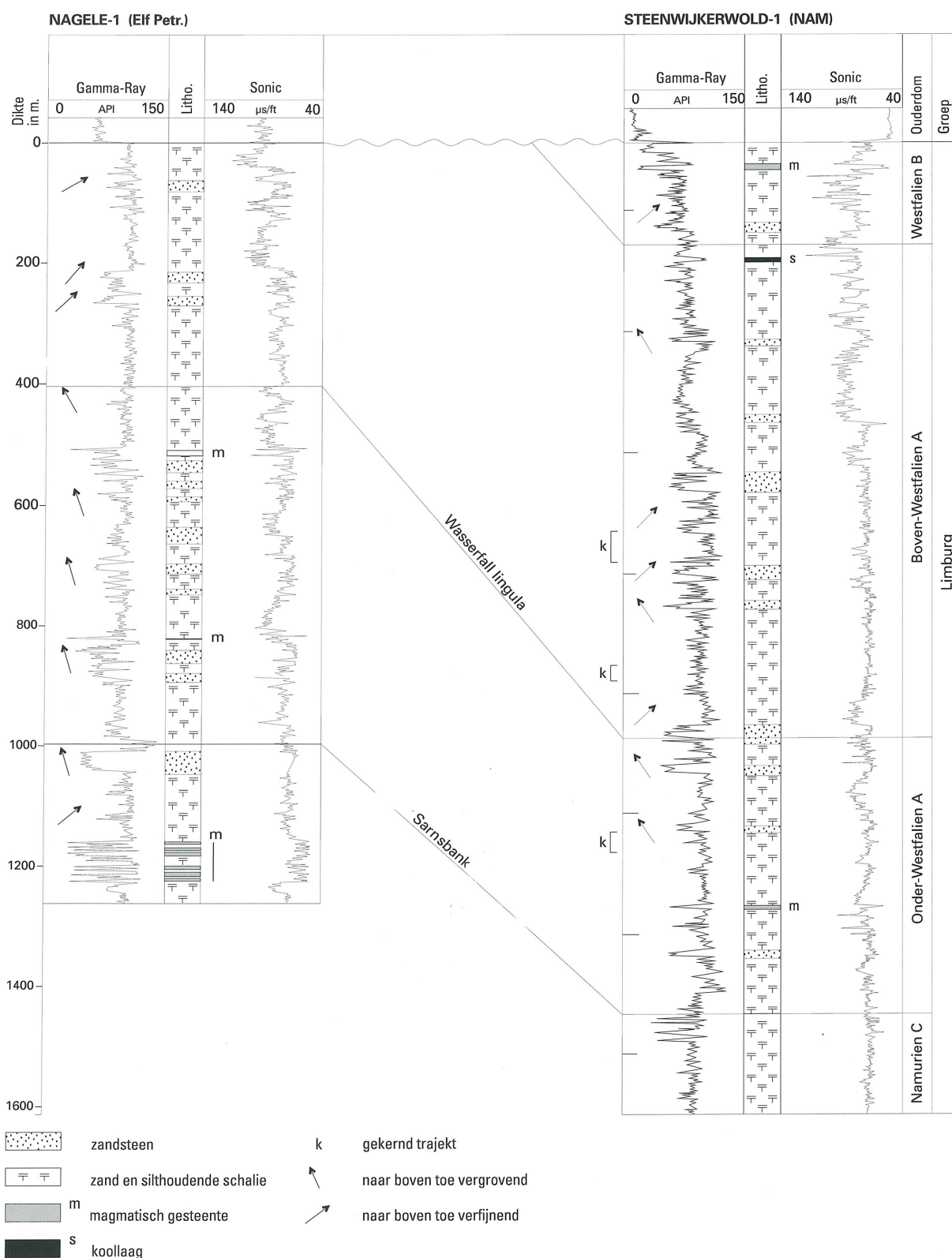
In het kaartbladgebied bereikt slechts een klein deel van de beschikbare boringen het Carboon. Deze boringen doorboren, op een aantal uitzonderingen na (zoals Nagele-1, Steenwijkerwold-1 en Dwingelo-2), niet meer dan een tiental meters de Limburg Groep. De sedimenten van het Westfalien A in het kaartbladgebied liggen op continentale schaliepakketten van het Namurien (Ziegler, 1990). In het zuiden van Nederland wordt de basis van de Limburg Groep gelegd bij de top van de Visé kalken die afgezet zijn gedurende het Dinantien (Bless et al., 1983).

Reeds gepubliceerde gegevens van de ouderdom van de top van het Carboon in het kaartbladgebied geven Westfalien A, B of C als ouderdom (Van Wijhe & Bless, 1974; Van Wijhe et al., 1980; Van Wijhe, 1987a). Deze ouderdommen zijn van een aantal boringen bevestigd door eigen onderzoek. Figuur 2.2 geeft de ouderdom van de top van het Carboon in het kaartbladgebied en toont een structureel concept dat in paragraaf 2.3 behandeld zal worden.

Plaatselijk komen er stollingsgesteenten in de Carboon sedimenten voor. Deze worden besproken in paragraaf 2.2. De stratigrafie van het oudste deel van het Westfalien wordt in deze toelichting besproken aan de hand van de boringen Nagele-1 en Steenwijkerwold-1 (fig. 2.1; RGD, 1992a).

2.1.1 Coal Measures

De Coal Measures in het kaartbladgebied bestaan uit een onregelmatige afwisseling van overwegend donkergrijze tot zwarte, siltige schalies met roodbruine tot grijze silt- en zandsteenbanken en zwarte glimmende koollaagjes. De kleistenen bevatten mica en pyriet. In het gehele Coal Measures traject bevinden zich zandige systemen die zowel vergroving als verfijning naar de top vertonen, terwijl de zeer bitumineuze, kleiige lithologie overheerst (fig. 2.1). In de donkere schalies komen niveau's met fijn zand, silt, mica en pyriet voor. De diktes van de siltstenen

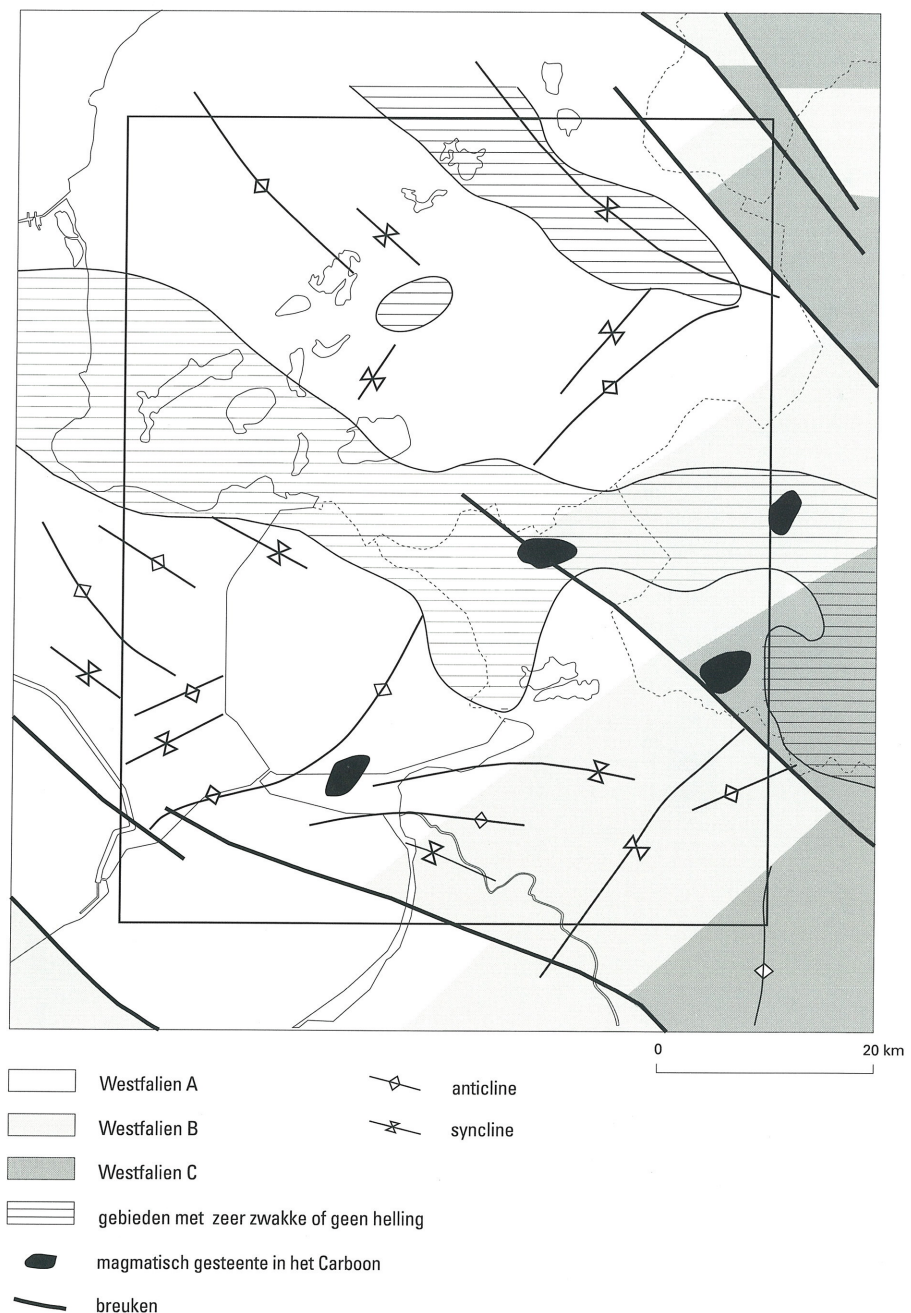


Figuur 2.1 Opbouw van de Limburg Groep en correlatie van de boringen Nagele-1 en Steenwijkerwold-1. In deze boringen zijn op de logs de magmatische gesteenten herkenbaar aan een lage gamma-ray waarde en een hoge akoestische snelheid. Het Carboon in de boring Nagele-1 wordt bedekt door kleistenen van de Holland Formatie, in de boring Steenwijkerwold-1 door de Slochteren Formatie.

en siltige schalies variëren van enkele meters tot enkele tientallen meters. De koollaagjes bereiken een dikte van hoogstens één meter. De kool is zwart, hard en pyriethoudend.

De Coal Measures worden in het grootste deel van het kaartblad discordant bedekt door de Boven-Rotliegend Groep of, in het zuidoosten van het kaartblad waar de Boven-Rotliegend Groep niet is afgezet, door Zechstein afzettingen. Wanneer deze koolhoudende schalies van Carboon ouderdom bedekt worden door de Tubbergen Zandsteen Formatie, zoals aan de oostelijke rand van het kaartbladgebied worden deze de Productive Measures genoemd (NAM & RGD, 1980).

Figuur 2.2 Afgedekte geologische kaart van de afzettingen onder de Saalische discordantie en plooiassen van Varistische ouderdom. De kaart geeft anticlinale, synclinale structuren en een ongeplooid platformgebied weer. Dit gebied in het noorden van het kaartblad is zeer zwak geplooid. Het voorkomen van magmatische gesteenten op de kaart is gebaseerd op informatie uit boringen.



De sedimenten van de Coal Measures zijn van Westfalien A/B ouderdom en zijn in het gehele kaartbladgebied aanwezig (fig. 2.2). In de boring Nagele-1 is de basis van het Westfalien A aangeboord. De dikte van het Westfalien A bedraagt in deze boring 850 m. In de boring Steenwijkerwold-1 heeft het Westfalien A een minimale dikte van 1000 m (fig. 2.1). Met behulp van biostratigrafische dateringen en de hierboven genoemde mariene niveau's zijn de boringen Nagele-1 en Steenwijkerwold-1 gecorreleerd, waarbij het Westfalien A onderverdeeld is in het Onder- en Boven-Westfalien A. Zowel de boring Nagele-1 als Steenwijkerwold-1 heeft de basis van het Westfalien A aangeboord.

2.1.2 Tubbergen Zandsteen Formatie

De Tubbergen Zandsteen Formatie bestaat uit een afwisseling van zandstenen, schalies en koollaagjes. Geïsoleerde zandsteenbanken bereiken een dikte tot 25 m en worden van elkaar gescheiden door schaliepakketten van enkele meters dik. Zowel de afzonderlijke zandsteenbanken als de gestapelde zandsteenbanken onderling vertonen een afname in korrelgrootte naar de top (fig. 2.1). In vergelijking met de Productive Measures, bevat de Tubbergen Zandsteen formatie meer zandige lithologie. De Tubbergen Zandsteen Formatie is afgezet gedurende het Westfalien C.

De sedimenten van de Tubbergen Zandsteen Formatie liggen op die van de Productive Measures. Waarschijnlijk is het contact discordant (Van Wijhe & Bless, 1974), maar dit is vooralsnog niet aangetoond. De formatie wordt slechts aangetroffen in het uiterste noordoosten en in het zuidoostelijke deel van het kaartbladgebied (fig. 2.2) alwaar het bedekt wordt door een dik zandpakket van de Slochteren Formatie.

De maximale aangeboorde dikte van de formatie op het kaartblad bedraagt ca. 100 m. In het De Wijk gasveld (fig. 1.2) is de Tubbergen Zandsteen Formatie gasvoerend (Gdula, 1983).

2.2 Stollingsgesteenten in het Carboon.

In het kaartbladgebied zijn relatief veel stollingsgesteenten in het Carboon aangeboord. Naast typisch grofkristallijne olivijngabbro's (Wanneperveen-1) en kwartshoudende gabbro's (Dwingelo-2 en De Wijk-7) is eveneens bazalt aangetroffen (Steenwijkerwold-1). Alle aangeboorde magmatische gesteenten in kaartblad V worden in sedimentaire gesteenten van Westfalien ouderdom aangetroffen. Magmatische gesteenten zijn door middel van boorgatmetingen te herkennen aan een lage waarde op de gamma-ray log en aan een karakteristieke, hoge akoestische snelheid.

De boring De Wijk-7 heeft twee gabbroïde lichamen doorboord. De ouderdom van de gabbro, aangeboord op een diepte van 2684 tot 2691 m, bedraagt 289 ± 7 Ma (NAM 1991, pers. comm.) en heeft dezelfde ouderdom als de Saalische fase van de Varistische orogenese (Stefanien-Autunien; geologische tijdsschaal van Harland et al. 1990). Een ander lichaam, op een diepte van 2443 tot 2486 m, betreft een olivijngabbro waarvan de ouderdom bepaald is op 155 ± 4 Ma (NAM 1991, pers. comm.). Deze valt samen met de Laat-Kimmerische fase. Tijdens deze fase met lokale extensietektoniek ontstonden het Vlieland Bekken en het Nedersaksisch Bekken. Plutonisme komt regelmatig voor tijdens rektektonische processen en past dus goed in deze fase.

De boring Steenwijkerwold-1 heeft op een diepte van 1937,50 - 1944 m een bazalt aangeboord, waaraan in kernen verweringsstructuren onderkend zijn. Het nevengesteente is van Boven-Westfalien A ouderdom (fig. 2.1). De bazalt is gedateerd op 291 ± 8 Ma (NAM 1991, pers. comm.) en komt overeen met de datering van de gabbro in De Wijk-7. De boring Dwingelo-2 heeft een

olivijnabbro (Eigenfeld, 1986) aangeboord op een diepte van 3753 - 3792,20 m die gedateerd is op 322 ± 15 Ma (NAM 1991, pers. comm.).

Van de Wanneperveen-1 boring zijn de intrusieve gesteenten, waaronder bazalten, dolerieten en olivijnabbro's, bestudeerd door Kimpe (1953). Alle intrusieven in deze boring zijn hydrothermaal gecarbonitiseerd, gealbitiseerd en geserpentinitiseerd. De sedimenten, waarin deze gesteenten geïntroduceerd zijn, zijn van Westfalien A ouderdom en zijn contactmetamorf beïnvloed. Het gabbroïde lichaam (appendix I: foto 1) dat is aangeboord in het diepste gedeelte van deze boring (2064 - 2069,5 m) is niet gedateerd. De gabbro's behoren waarschijnlijk tot een laccoliet waarvan de basis in de boring niet bereikt is (Kimpe, 1953).

In de boring Nagele-1 zijn een aantal intrusieven aanwezig die eveneens niet gedateerd zijn. Deze doleriet-achtige lichamen (bazalt met groene en bruine insluitels) duiden, vanwege hun geringe dikte en hun hoge frequentie van voorkomen (fig. 2.1), op de configuratie van een dolerietzwerm.

De gabbro van De Wijk-7 en de bazalt van Steenwijkerwold-1 zijn allebei gedateerd op ca. 290 Ma. Deze dateringen duiden op een magmatisch actieve periode in het kaartbladgebied tijdens de Saalische fase van de Varistische orogenese (Stefanien-Autunien) in het kaartbladgebied. Het bazaltische lichaam in De Wijk-7 dat ligt in sedimenten van het Laat-Westfalien A duidt op extrusieve activiteit met een ouderdom van 310 Ma (grens Westfalien A / Westfalien B).

De gabbro's, dolerieten en bazalten in Noordoost-Nederland hebben een duidelijk genetisch verband omdat de mineralogische variatie van de magmatische lichamen niet groot is (Kimpe, 1953; Eigenfeld, 1986). In de literatuur wordt extrusieve en intrusieve activiteit in Noordwest-Europa eveneens tijdens het Stefanien-Autunien (Saalische tektonische fase) verondersteld door Lorentz & Nicholls (1976, 1984) en Francis (1988). Dichtbij het Varistische deformatie front overheersen de licht alkaline en mafische gesteenten (Eckhardt, 1979). Magmatische activiteit wordt dan gerelateerd aan Varistische zijschuivingstektoniek.

2.3 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

Het Westfalien A traject van de boring Nagele-1 is op verschillende logfaciestypen onderzocht en is vervolgens opgedeeld in twee trajecten. Vanaf de basis van het Westfalien A tot 2130 m bevinden zich schalies en zandstenen, waarin de zandsteenbanken een dikte bereiken tot 20 m en veelal naar boven toe vergroevend zijn (fig. 2.1). Deze zandsteenbanken representeren uitbouwende deltaïsche systemen die waarschijnlijk uitmondde in een meer. Dit afzettingsmilieu was op het kaartblad aanwezig gedurende het Vroeg-Westfalien A. Het interval van 2130 tot 1614 m van de boring Nagele-1 bevat 20 m dikke, naar boven toe verfijnende zandsteenbanken (fig. 2.1). Het interval bestaat veelal uit schalies, die zijn afgezet buiten de oevers van rivieren. Deze sedimenten zijn afgezet gedurende het late Westfalien A.

De Coal Measures in het kaartbladgebied werden afgezet in een opeenvolging van afwisselend fluviatiele, deltaïsche en lacustriene milieus, waarin dunne mariene intervallen voorkomen. Deze sedimenten zijn afgezet in een zeer vlak landschap dat net boven de zeespiegel lag. Het vlakke landschap blijkt ondermeer uit de grote verbreiding van dunne, ingeschakelde mariene niveau's. Een geringe stijging van het zeeniveau was voldoende om grote gebieden te inunderen. Het kleiige karakter van de sedimenten en het voorkomen van de naar boven toe verfijnende zanden, die geïnterpreteerd worden als afzettingen van meanderende rivieren, zijn karakteristiek voor een zeer vlak landschap. Veen werd gevormd in meren en moerassen met een overvloedige plantengroei en een vaak stagnerende afvoer van het oppervlaktewater. Uit dit veen is na een inkolingsproces bij

hoge temperaturen en druk, ten gevolge van diepe begraving, tenslotte steenkool ontstaan.

De zanden van de Tubbergen Zandsteen zijn afgezet door meanderende rivieren, terwijl de kleiige sedimenten zijn afgezet achter de oeverwallen. Doorbraken in de oeverwallen van de rivieren leidden tot de vorming van zandige crevasse-afzettingen. Zowel in de moerassen als in afgesneden stroomgeulen trad veenvorming op.

Kartering van de ouderdom van de top van de Limburg Groep, en van de helling van de Limburg Groep ten opzichte van de helling van de basis van de Rotliegend Groep (= Varistische helling), heeft uitgewezen dat plooiing tijdens een Laat-Varistische tektonische fase van grote invloed is geweest op het kaartbladgebied. Breuken zijn op de beschikbare seismiek zelden te karteren.

Correlatie van deze breuken is niet mogelijk vanwege de slechte laterale vervolgbaarheid van de reflectoren. Er zijn twee duidelijk verschillende Varistische plooiasrichtingen in het kaartbladgebied te onderscheiden (fig. 2.2). Plooiasen met een NW-ZO richting (en in het zuiden van het kaartbladgebied O-W) worden gerelateerd aan de Asturische fase van de Varistische orogenese. De hoofdspansingsrichting σ_1 ligt dan N-Z, loodrecht op de plooias richting. De gekarteerde plooiasen met een ZW-NO trend zijn waarschijnlijk jonger, maar nog Varistisch (Saalisch) van ouderdom, en overschaduwden de NW-ZO en O-W trend (fig. 2.2).

3 Boven-Rotliegend Groep

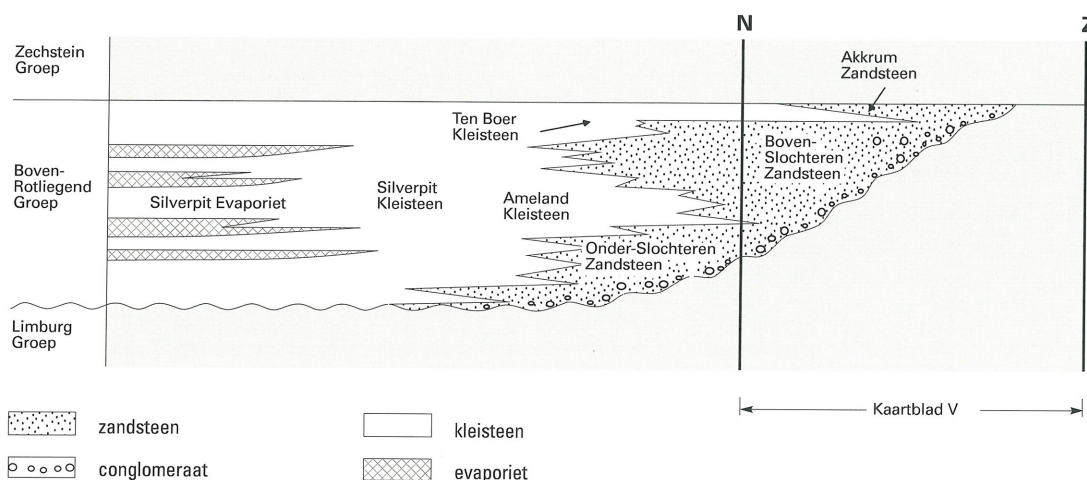
3.1 Stratigrafie

In het kaartbladgebied bestaat de Boven-Rotliegend Groep uit roodbruine zandstenen, kleistenen en conglomeraten. De onder continentale omstandigheden afgezette sedimenten hebben vaak een karakteristieke roodkleuring die veroorzaakt wordt door een dunne hematietcoating op kwartskorrels. De Boven-Rotliegend Groep bestaat in het kaartbladgebied voornamelijk uit sedimenten van de Slochteren Zandsteen Formatie. De ouderdom van de Boven-Rotliegend Groep is Vroeg-Perm.

In het noorden van het kaartbladgebied gaat het bovenste deel van de Slochteren Zandsteen Formatie lateraal over in de Silverpit Kleisteen Formatie (fig. 3.1). Het Ameland Kleisteen Laagpakket van de Silverpit Formatie is nauwelijks in het kaartbladgebied aanwezig waardoor de tweedeling van de Slochteren Zandsteen Formatie op het kaartblad in Onder- en Boven-Slochteren Zandsteen niet relevant is.

De Boven-Rotliegend Groep, die voor het grootste deel is opgebouwd uit de Slochteren Zandsteen Formatie, wordt op bijna het gehele kaartbladgebied aangetroffen, behalve op het Texel-IJsselmeer Hoog en in het uiterste zuidoosten van het kaartbladgebied (Kaart 1 & fig. 3.2). De sedimenten van de Boven-Rotliegend Groep rusten discordant op de Limburg Groep. De groepen worden gescheiden door de Saalische discordantie. De sedimenten van de Boven-Rotliegend Groep worden concordant bedekt door de evaporitische serie van het Zechstein pakket. Op de noordoostelijke flank van het Texel-IJsselmeer Hoog wordt de Boven-Rotliegend Groep discordant bedekt door afzettingen van de Rijnland Groep (Kaart 16).

De dikte van het Boven-Rotliegend neemt naar het zuidoosten snel af (fig. 3.3 & 3.4). Het aantal ingeschakelde conglomeraatbanken neemt toe in laatstgenoemde richting, hetgeen wijst op een bekkenrand aldaar (fig. 3.2). Het zuidoostelijke deel van het kaartbladgebied is gekarakteriseerd

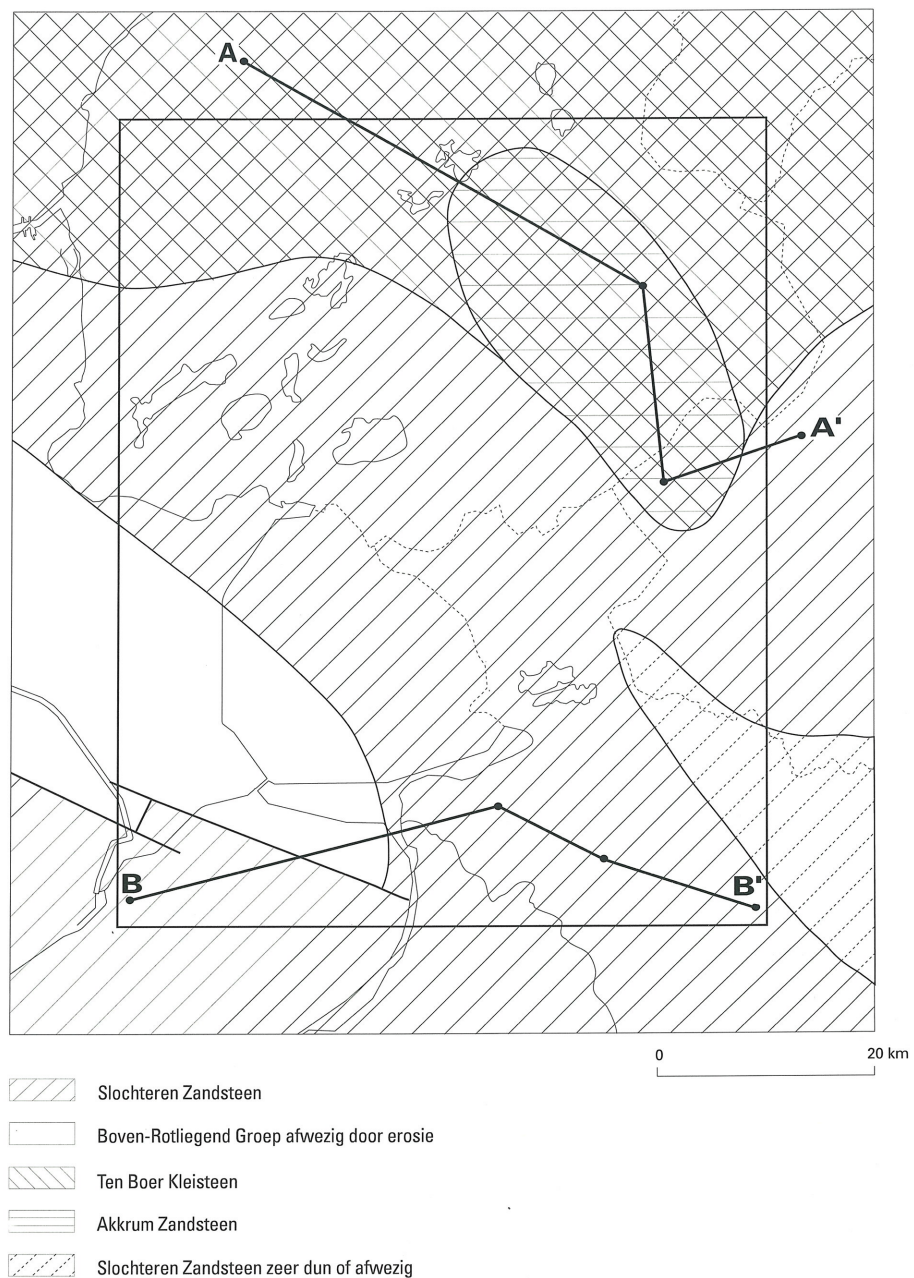


Figuur 3.1 Geschematiseerd stratigrafisch diagram van de Boven-Rotliegend Groep binnen en ten noorden van het kaartbladgebied.

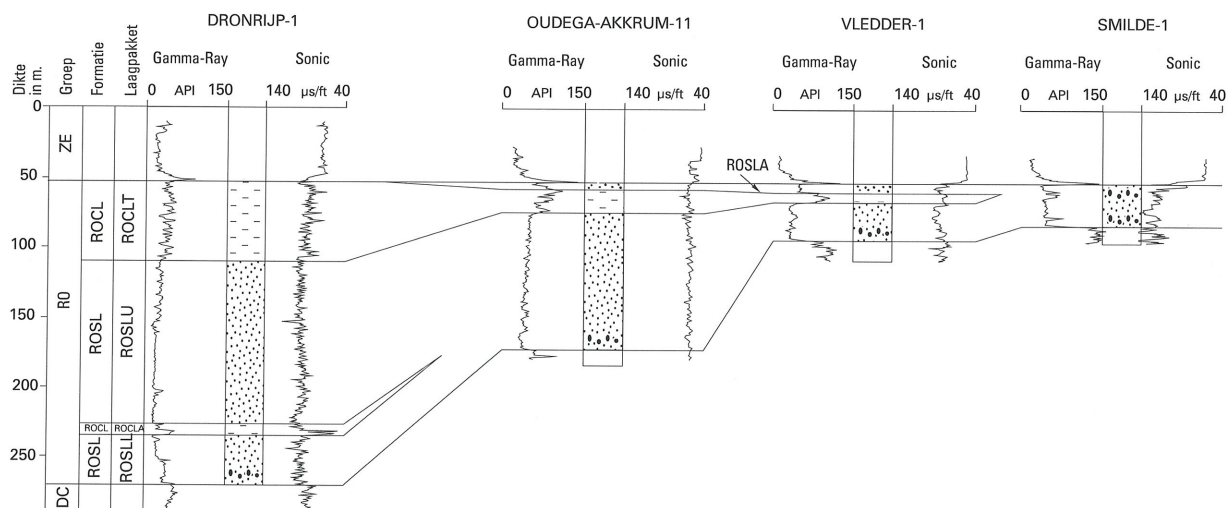
door de afwezigheid van Boven-Rotliegend sedimenten, hetgeen er op wijst dat dit deel boven het bekkenniveau uitstak.

Het centraal westelijke deel van het kaartbladgebied was relatief ondiep waardoor minder sediment accumuleerde dan in het gebied ten noorden en ten zuiden ervan. Deze ondiepte lag op de plaats waar later het Texel-IJsselmeer Hoog zou ontstaan. De meeste sedimentatie vond plaats in het Centraal-Nederlands Bekken en het gebied ten noorden van het Texel-IJsselmeer Hoog.

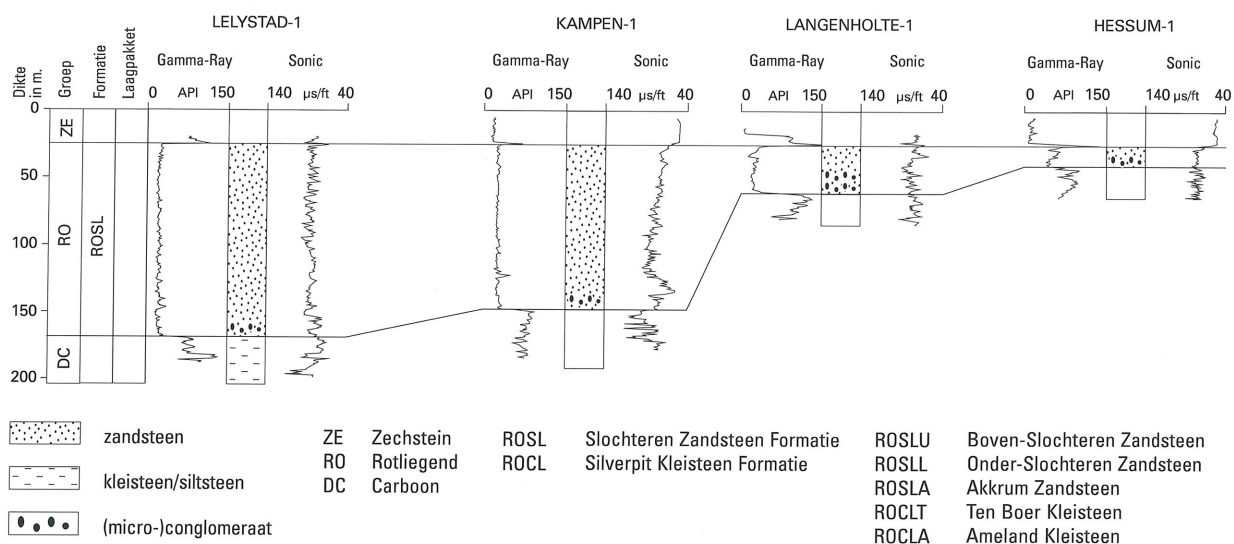
Figuur 3.2 De verbreiding van de verschillende lithologische eenheden van de Boven-Rotliegend Groep in het kaartbladgebied en de ligging van de stratigrafische correlatieprofielen A-A' en B-B'. Op het Texel-IJsselmeer Hoog is het Boven-Rotliegend afwezig. De Akkrum Zandsteen komt slechts voor in het noordoosten van het kaartbladgebied.



Figuur a
A



Figuur b
B



Figuur 3.3 Stratigrafische correlatie-profielen van de Boven-Rotliegend Groep met de basis van de Zechstein Groep als referentieniveau. De ligging van de profielen is aangegeven in figuur 3.2. De Rotliegend sedimenten in de boringen van deze figuur liggen op sedimenten van de Limburg Groep en worden bedekt door de sedimenten van de Zechstein Groep.

a Profiel A-A' toont het dieper worden van het Zuidelijk Perm Bekken ten noorden van het Texel-IJsselmeer Hoog en de stratigrafische positie van het Akkrum Zandsteen Laagpakket.

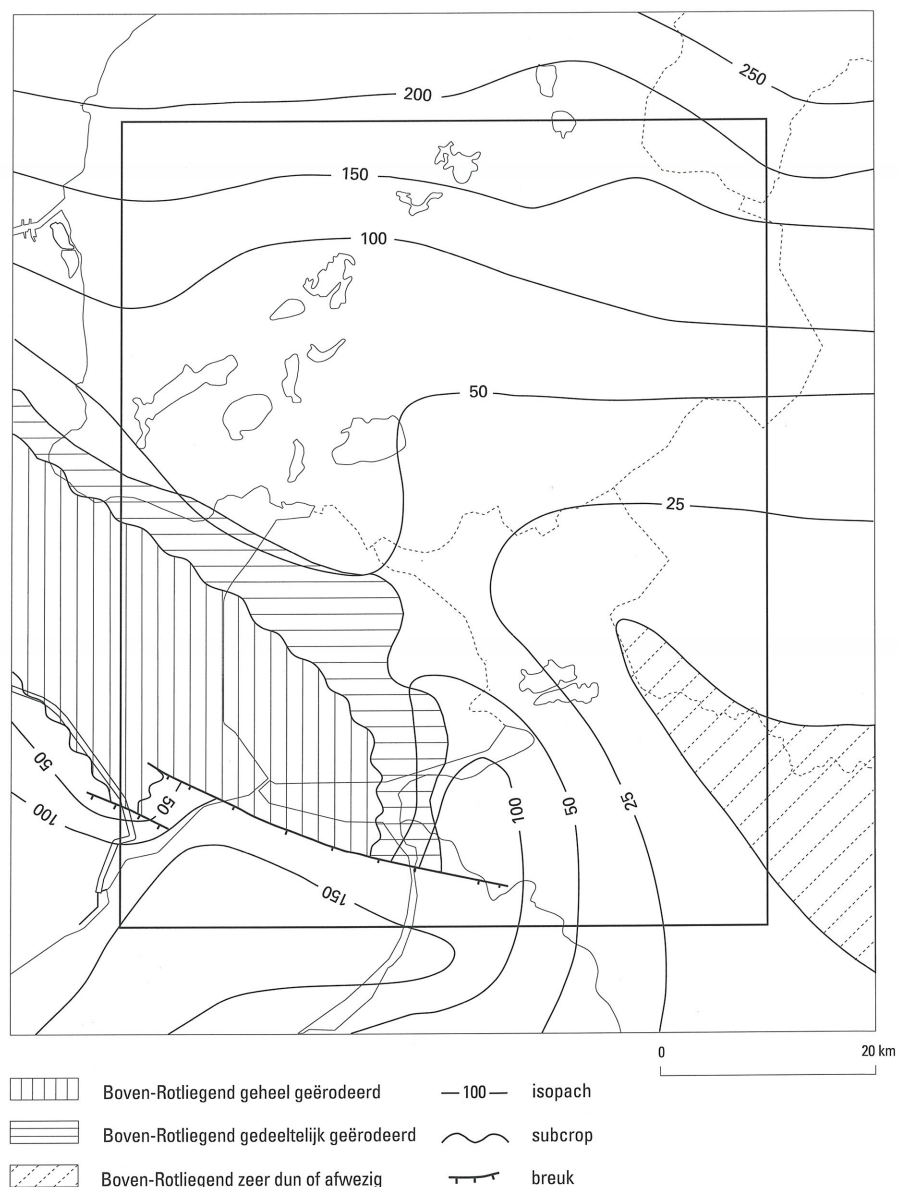
b Profiel B-B' toont de verdieping in het subbekken ten zuiden van het Texel-IJsselmeer Hoog (Centraal-Nederlands Bekken) en de afwezigheid van kleiige laagpakketten die ten noorden van het Texel-IJsselmeer Hoog voorkomen (Ten Boer en Ameland Kleisteen laagpakketten). Het profiel loopt over het Texel-IJsselmeer Hoog, waar door Laat-Kimmerische erosie de sedimenten van de Boven-Rotliegend Groep afwezig zijn.

3.1.1 Slochteren Zandsteen Formatie

De Slochteren Zandsteen Formatie is in het kaartbladgebied opgebouwd uit het Slochteren Zandsteen Laagpakket en het Akkrum Zandsteen Laagpakket. Deze worden van elkaar gescheiden door het Ten Boer Kleisteen Laagpakket, een zuidelijke uitloper van de Silverpit Formatie (fig. 3.1). Het Akkrum Zandsteen Laagpakket is niet beschreven door NAM & RGD (1980) en wordt daarom hieronder als informeel laagpakket behandeld.

De Slochteren Zandsteen Formatie bestaat hoofdzakelijk uit zandsteen waarin (plaatselijk) conglomeraten voorkomen. De formatie bereikt een maximale dikte van 150 m in het noorden en het zuidwesten van het kaartbladgebied (fig. 3.3 & 3.4). De zandsteen is opgebouwd uit roodbruin

Figuur 3.4 Diktekaart van de Boven-Rotliegend Groep. In de figuur wordt aangegeven waar de Boven-Rotliegend Groep aanwezig is en waar de sedimenten geheel geërodeerd zijn.



gekleurde, matig tot goed gesorteerde, grove tot fijne kwartskorrels. De korrels zijn goed tot middelmatig afgerond. Tevens komen er geringe hoeveelheden schaliefragmenten en glimmers in voor, die zowel naar het centrum van het Centraal-Nederlands Bekken als naar het noorden afnemen. Dunne roodbruine siltige kleistenen zijn regelmatig ingeschakeld. De roodkleuring gaat veelal in de bovenste tiental meters van de formatie geleidelijk over naar beige en wit. De zandstenen zijn plaatselijk sterk met anhydriet gecementeerd (appendix I: foto 2). De authigene anhydriet heeft gehele poriën opgevuld tijdens een laat-diagenetische fase.

De in de Slochteren Zandsteen Formatie voorkomende conglomeraten bevinden zich zowel aan de basis van de formatie als ingeschakeld in de zandige lithologie. Het basale conglomeraat is niet dikker dan 10 meter en bestaat uit componenten van Carboon afzettingen, waaronder fragmenten van zwarte en rode schalies, en fijnkorrelige, grijze zandsteen. De ingeschakelde conglomeraten bestaan uit goed tot slecht afgeronde kwarts in een zandige matrix. De rolstenen zijn maximaal enkele centimeters groot. Sporen van kool en mica worden eveneens gevonden. Zandstenen met minder goed afgeronde componenten komen voor in puinwaaiers in het zuidoosten langs de bekkenrand.

In het gebied tussen de boringen Diever-1 en Oudega-Akkrum-1 is op de Ten Boer Kleisteen nog een lichtgrijze, relatief grofkorrelige zandsteen afgezet die ook tot de Slochteren Zandsteen Formatie wordt gerekend en hier informeel het *Akkrum Zandsteen Laagpakket* is genoemd. Dit pakket is 7 m dik in de boring Vledder-1. De matig afgeronde korrels van de zandstenen variëren van grof tot fijn (schaal van Wentworth; Scholle, 1979). Het contact met de onderliggende Ten Boer Kleisteen is zeer scherp. Het zandsteenpakket komt slechts lokaal voor in het noordoosten van het kaartbladgebied (fig. 3.2 & 3.3b). Naar het noorden, het oosten en het westen wigt dit zandsteenpakket volledig uit.

3.1.2 Silverpit Kleisteen Formatie

De Silverpit Kleisteen Formatie is het distale equivalent van de Slochteren Zandsteen Formatie. In het overgangsgebied met de Slochteren Zandsteen Formatie kan de Silverpit Formatie opgedeeld worden in drie laagpakketten, te weten, van onder naar boven, de Hollum Kleisteen, de Ameland Kleisteen en de Ten Boer Kleisteen (NAM & RGD, 1980). In het kaartbladgebied zijn de Hollum en de Ameland Kleisteen Laagpakketten niet afgezet.

Het *Ten Boer Kleisteen Laagpakket* is de bovenste kleitong van de Silverpit Formatie (fig. 3.1) en bestaat voornamelijk uit siltige, roodbruine klei- en siltsteen. Ingeschakelde fijnkorrelige en licht gekleurde zandsteenbanken van enkele meters dikte komen regelmatig voor. De siltstenen zijn vaak gecementeerd met anhydriet en calciet. Het laagpakket bereikt in het kaartbladgebied een maximale dikte van 50 m en is slechts in het noordelijke gedeelte aanwezig. In figuur 3.2 is de zuidelijke verbreedingsgrens aangegeven.

De Ten Boer Kleisteen gaat naar het zuiden lateraal over in de zandstenen van de Slochteren Formatie (fig. 3.1 & 3.3a) en wordt concordant bedekt door de Akkrum Zandsteen of door de Koperschalie van de Zechstein Groep.

3.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

De Vroeg-Perm zandstenen en conglomeraten van de Boven-Rotliegend Groep zijn continentale sedimenten, afgezet onder (semi-)aride omstandigheden in het intra-cratonische Zuidelijk Perm

Bekken. De kleisteen is het distale equivalent van de zandstenen en is afgezet in een meer dat zich grotendeels noordelijk van het kaartbladgebied bevond (fig. 11.9).

De grove conglomeratische sedimenten van de Slochteren Zandsteen Formatie in het zuidoosten van het kaartbladgebied worden geïnterpreteerd als puinwaaier systemen en als proximale rivierafzettingen. Wat verder verwijderd van het brongebied overheersen voornamelijk de verwilderde riviersystemen en wadi's. De delen van Boven-Slochteren Zandsteen, met goed gesorteerde en afgeronde korrels en een monomictie samenstelling, zijn geïnterpreteerd als duinafzetting en (Glennie, 1972; Glennie & Buller, 1983; Marie, 1975; Blanche, 1973).

Het sedimentpakket wordt naar het Texel-IJsselmeer Hoog toe dunner en het is waarschijnlijk dat de sedimentatiesnelheid van het oudste gedeelte van de Slochteren Zandsteen hier erg laag was. Het Boven-Rotliegend is wel afgezet op het hoog (Rijks Geologische Dienst, 1991a), maar is op de kruin ervan afwezig wat zeer waarschijnlijk het gevolg is van Laat-Kimmerische erosie (Kaart 18, profiel 2). In dit verband moet tevens worden opgemerkt dat de diktecontouren van de Boven-Rotliegend Groep veel noordelijker omlopen dan men op basis van de huidige positie van het Texel-IJsselmeer Hoog zou verwachten. Dit betekent dat er sprake was van een iets noordelijker gelegen Texel-IJsselmeer Hoog. Dit paleohoog functioneerde als een drempel die de depressie zuidelijk van het Texel-IJsselmeer Hoog (de voorloper van het Centraal-Nederlands Bekken) scheidde van het meer noordelijk gelegen Zuidelijk Perm Bekken. De zuidelijke begrenzing van de lacustriene afzettingen van de Ten Boer Kleisteen lijkt eveneens door het Texel-IJsselmeer Hoog bepaald.

De duinzanden van de Slochteren Zandsteen Formatie werden roodgekleurd in een oxiderend milieu met een hoge zuurgraad. De roodkleuring is van zeer vroeg-diagenetische oorsprong en vond plaats terwijl de grondwaterspiegel langzaam steeg (Walker, 1967; Turner, 1980), al vóór de Zechstein transgressie. De grijs en wit gekleurde laagpakketten in de top van de Boven-Rotliegend Groep (Akkum Zandsteen) hebben niet beneden de Vroeg-Perm waterspiegel (Glennie & Buller, 1983) gelegen.

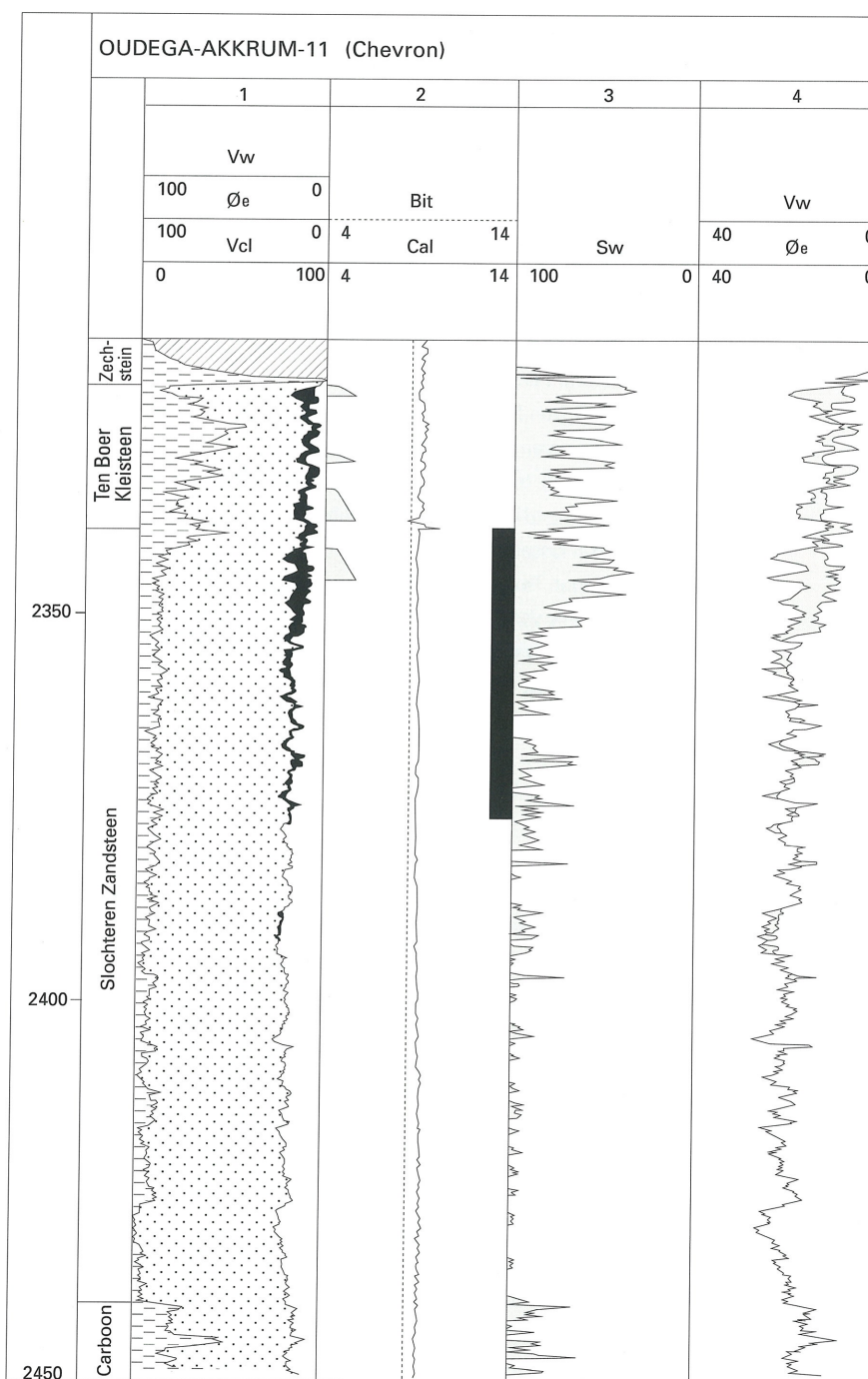
Het materiaal, waaruit de Slochteren Zandsteen is opgebouwd, werd vanuit het zuiden en oosten aangevoerd (Stäuble & Milius, 1970; Glennie, 1972). De relatief hoekige componenten van de breccie langs de zuidelijk gelegen bekkenrand, en de grove conglomeraten en zanden van de Slochteren Zandsteen Formatie kwamen voornamelijk uit een zuidelijke brongebied en werden door vlechtende rivieren en, meer stroomafwaarts, door wadi's naar het noorden getransporteerd. De eolische afzettingen zijn waarschijnlijk afkomstig uit een veel groter gebied en zijn voornamelijk door oostelijke passaatwinden westwaarts gevoerd (Glennie, 1972). Aan het eind van het Vroeg-Perm was er door de bekkendaling, tijdens de afzetting van de Boven-Rotliegend Groep, een grote depressie beneden zeeniveau ontstaan. Dit bekken werd omsloten door Varistische bergketens, die gedurende het Vroeg-Perm verhinderden dat het zeewater het Zuidelijk Perm Bekken kon binnenstromen (Glennie, 1986; Ziegler, 1982).

3.3 Petrofysische evaluatie

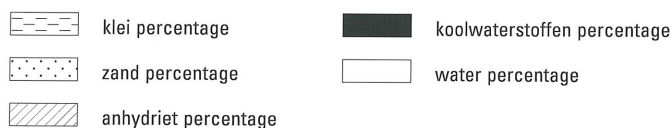
De zandstenen van de Boven-Rotliegend Groep vormen in het noorden van het kaartbladgebied een belangrijk exploratiedoel. Gedurende de laatste 30 jaren zijn in het kaartbladgebied gasvelden in de Boven-Rotliegend Groep aangeboord (fig. 1.2).

Van 19 boringen uit het kaartbladgebied en de directe omgeving werden de afzettingen van deze groep petrofysisch geëvalueerd (appendix C). In een negental van deze boringen is de zandsteen

Figuur 3.5 Petrofysische evaluatie van het Boven-Rotliegend traject in de boring Oudega-Akkrum-11. Kolom 1: kleigehalte Vcl, effectieve porositeit ϕ_e en poriënvolume water Vw, alle in procenten. Het kleigehalte werd bepaald m.b.v. de gamma-ray log. De effectieve porositeit werd verkregen door gebruik te maken van het 'single porosity model' (density log), waarbij de berekende logporositeit werd gecorrigeerd voor de aanwezige klei en de aanwezige koolwaterstoffen. Kolom 2: boorgatdiameter (Cal) en boorbeiteldiameter (Bit), beide in inches; bovendien zijn de geteste intervallen (appendix D) weergegeven d.m.v. trapezia, en het gekernde interval d.m.v. een zwarte balk. Kolom 3: de watersaturatie Sw, in procenten. Voor de bepaling van de watersaturatie werd de Indonesia-formule gebruikt (Fertl, 1987). Kolom 4: effectieve porositeit ϕ_e (linker curve) en poriënvolume water Vw (rechter curve), beide in procenten. In de linkerkolom zijn de formatiegrenzen aangegeven. Diepten zijn werkelijke diepten.



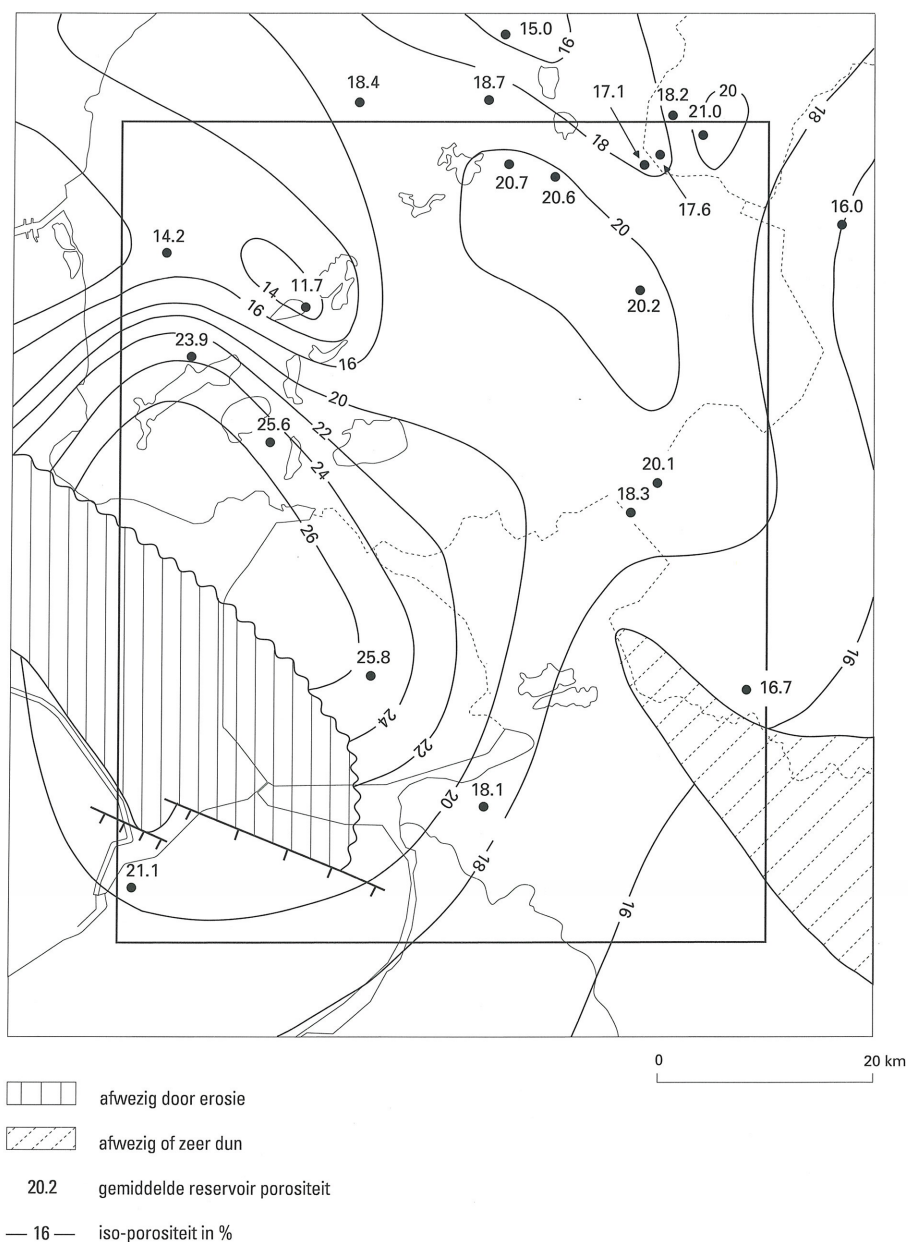
Legenda kolom 1



van de Boven-Rotliegend Groep gasvoerend (appendix D). Als voorbeeld van een logevaluatie van het Boven-Rotliegend reservoirtraject wordt in figuur 3.5 het resultaat getoond van de boring Oudega-Akkrum-11.

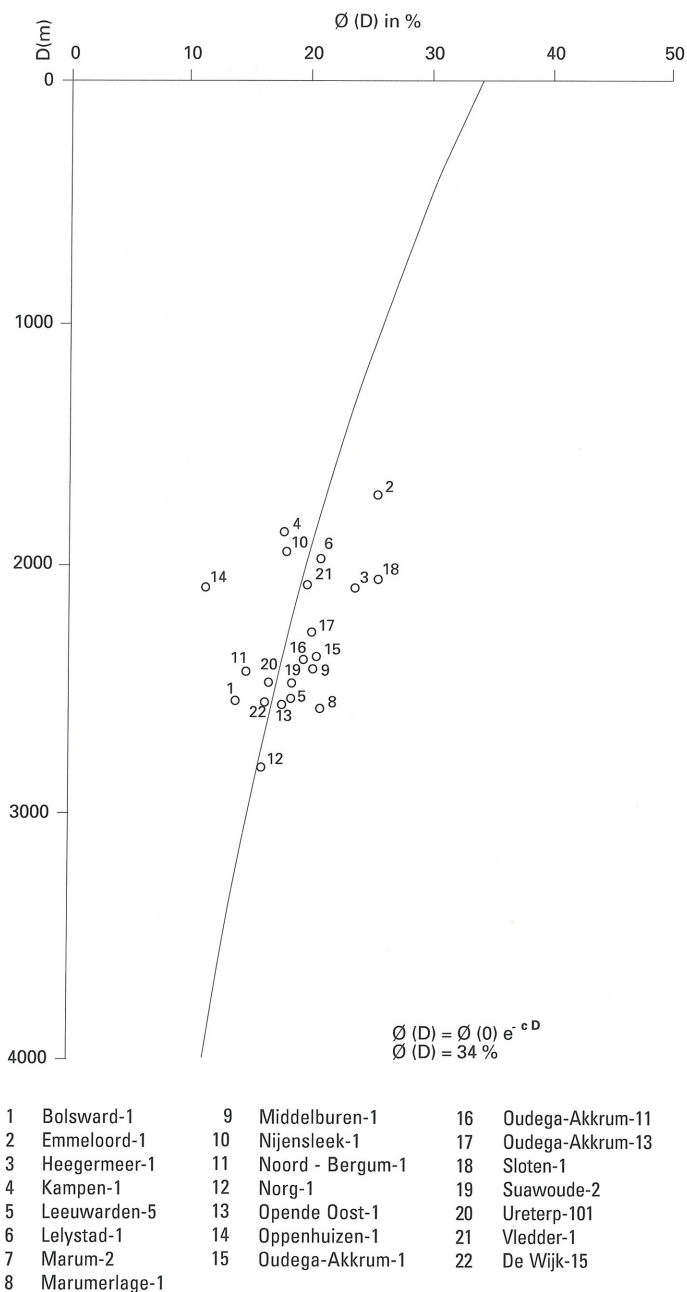
In figuur 3.6 is de verdeling van de gemiddelde reservoir-porositeit ($\bar{\phi}_{em}$) van de Boven-Rotliegend Groep op het kaartblad weergegeven. In deze figuur valt in het bijzonder de overeenkomst van de porositeitscontouren met de geologische structuren op. Direct ten noorden van het Texel-IJsselmeer Hoog en op het noordoostelijk deel van het Friesland Platform wordt de Boven-Rotliegend Groep gekarakteriseerd door hoge porositeitswaarden. De relatie tussen de reservoirporositeit en de huidige begravingsdiepte van de Boven-Rotliegend Groep wordt weergegeven in figuur 3.7. De porositeit neemt af met de diepte als gevolg van compactie,

Figuur 3.6 Schematische contourkaart van de reservoir-gemiddelde effectieve porositeit $\bar{\phi}_{em}$ (in procenten) van de Boven-Rotliegend Groep. De waarden van de met stip aangegeven datapunten staan ook vermeld in appendix C.



kwarts cementatie en illietgroei (Van Wijhe et al., 1980). De verschillen in porositeit binnen het kaartbladgebied (van 12 - 26 %, zie fig. 3.7) zijn het gevolg van variatie in primaire afzettingssomstandigheden en begravingsgeschiedenis. De hoge porositeitswaarden die direct ten noorden van het Texel-IJsselmeer Hoog liggen (25.8%, 25.6% en 23.9%, resp. Emmeloord-1, Sloten-1 en Heegermeer-1; zie fig. 3.7) kunnen verklaard worden door uitloging van de Slochteren Formatie gedurende de Midden- en Laat-Jura. Tijdens deze periode heeft de kruin van het Texel-IJsselmeer Hoog en het Friesland Platform als gevolg van Kimmerische opheffing direct aan of vlak onder het oppervlak gelegen.

Figuur 3.7 Porositeit versus diepte plot voor de Boven-Rotliegend Groep voor de geëvalueerde boringen op kaartblad V. De ingetekende curve is de compactiecurve volgens de relatie van Athy (1930) met een oppervlakte porositeit van 34%. Voor de constante c werd de waarde 0.00027 per meter gehanteerd (Sclater & Christie, 1980). De meetpunten vertegenwoordigen de reservoir-gemiddelde effectieve porositeit van de Boven-Rotliegend Groep (zie appendix C; voor de porositeiten van de boringen Bolsward-1, Leeuwarden-5 en Noord-Bergum-1 wordt verwezen naar Rijks Geologische Dienst 1991a en 1991b).



4 Zechstein Groep

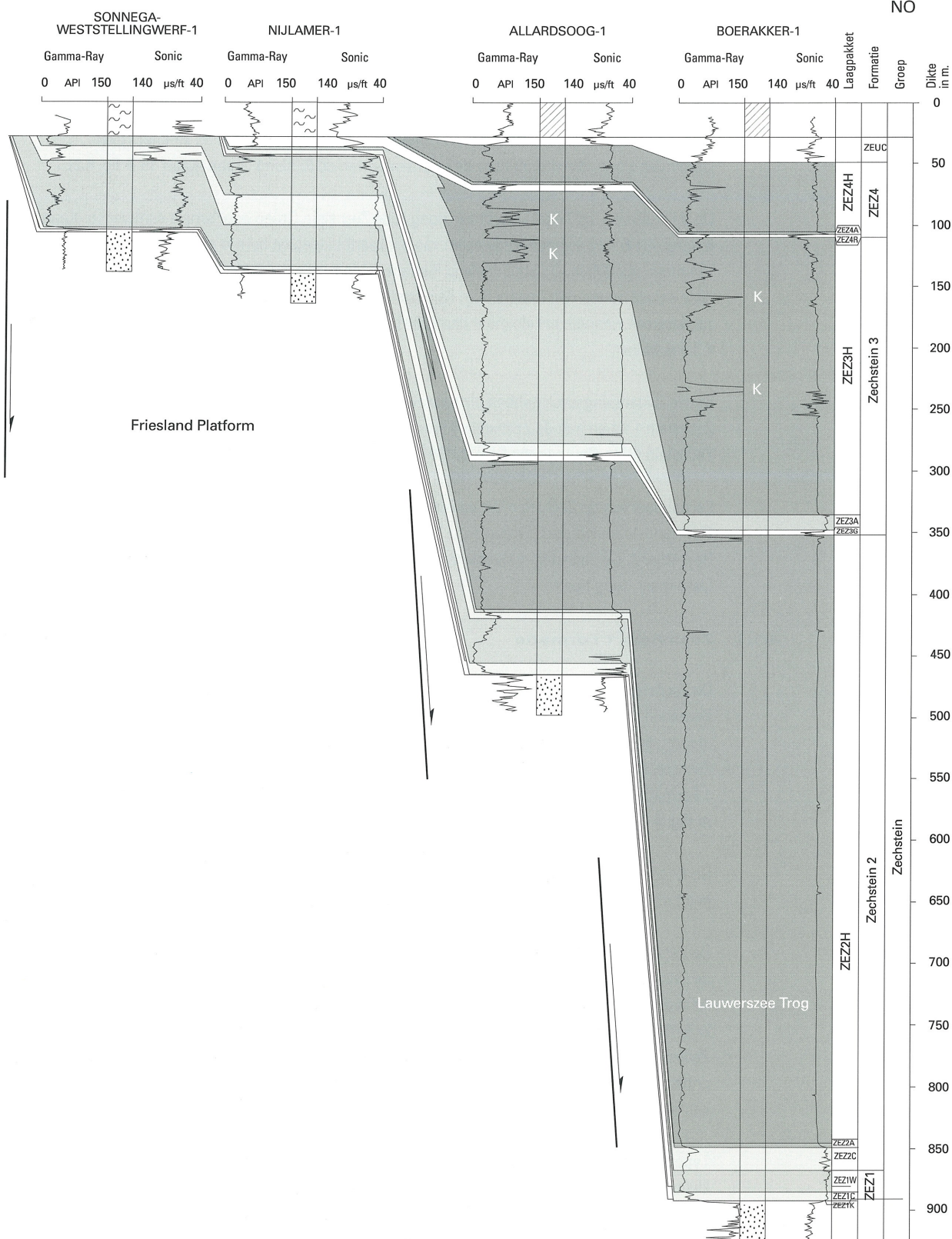
4.1 Stratigrafie

In het kaartbladgebied is de Zechstein Groep opgebouwd uit vier min of meer complete indampingscycli. De meest volledige cyclus in het kaartbladgebied bestaat, van onder naar boven, uit kleisteen – carbonaat – anhydriet – haliet – kalium/magnesium zouten – haliet – anhydriet. In het zuidwesten van het kaartbladgebied zijn tevens opvallende, kleiige inschakelingen aanwezig (RGD, 1986). Deze representeren de klastische randfacies van de Zechstein, die vooral zijn afgezet aan de

Figuur 4.1 Verbreidingskaart van de Zechstein Groep en de ligging van het stratigrafisch correlatieprofiel C-C'. Er is onderscheid gemaakt tussen geheel geërodeerde, gedeeltelijk en niet-geërodeerde gebieden.



NO



bekkenrand van het Zuidelijke Perm Bekken in het zuidelijke deel van Nederland. De Zechstein Groep is afgezet gedurende het Laat-Perm.

De Zechstein sedimenten liggen concordant op de Boven-Rotliegend Groep behalve in het uiterste zuidoosten van het kaartbladgebied, waar de Rotliegend Groep niet aanwezig is, en de Zechstein Groep discordant op het Carboon ligt. De Zechstein wordt in het kaartbladgebied concordant bedekt door de Onder-Bontzandsteen Formatie en, met name ten noorden van het Texel-IJsselmeer Hoog, discordant door de sedimenten van de Rijnland Groep (Kaart 16 & fig. 4.2).

Op de kruin van het Texel-IJsselmeer Hoog is de Zechstein Groep door erosie verdwenen (Kaart 3 & 4; fig. 4.1 & 4.2). In het noordwesten van het kaartbladgebied bereikt de groep lokaal een dikte van meer dan 900 m. Op het Friesland Platform en in het Centraal-Nederlands Bekken bedraagt de dikte enkele honderden meters. Aan de oostelijke rand van het kaartbladgebied ligt een aantal zoutkussens waarvan enkele meer dan 1000 m dik (Kaart 4). Deze structuren worden in paragraaf 4.3 besproken.

De vier indampingscycli hebben elk de status van formatie en zijn in stratigrafische volgorde de Zechstein 1 tot en met de Zechstein 4 Formatie. Hierboven liggen kleiige afzettingen van de Boven-Zechstein (Rijks Geologische Dienst, 1991a; RGD & NOGEPA, 1993).

De opbouw van de Zechstein Groep wordt geïllustreerd met de boringen Ermelo-1, Oost-Flevoland-1, Zeewolde-1, Emmeloord-1, Sonneg-Weststellingwerf-1, Nijlamer-1, Allardsoog-1 en Boerakker-1. De Zechstein trajecten van deze boringen zijn gecorreleerd (fig. 4.2) over het Texel-IJsselmeer Hoog heen.

4.1.1 Zechstein 1 Formatie

De Zechstein 1 Formatie is opgebouwd uit de Koperschalie, de Zechstein 1 Carbonaat en het Zechstein 1 Anhydriet Laagpakket. In het Centraal-Nederlands Bekken is eveneens Zechstein 1 Zout afgezet, hetgeen daar de Zechstein 1 Anhydriet scheidt in de Zechstein 1 Onder-Anhydriet en de Zechstein 1 Boven-Anhydriet. In het noorden van het kaartbladgebied is de dikte van de Zechstein 1 Formatie slechts 25 m. In het Centraal-Nederlands Bekken bereikt de formatie een dikte van 150 m (fig. 4.2).

De *Koperschalie* is een 1 tot 2 m dikke, sterk bitumineuze zwarte schalie. Op de gamma-ray log heeft dit pakket een karakteristieke hoge uitslag.

De *Zechstein 1 Carbonaat* is een 2 tot 15 m dikke grijsbruine, dolomitische kalksteen. Aan de top is de kalksteen anhydritisch ontwikkeld en daarom is de grens met de hierboven liggende Zechstein 1 Anhydriet wel eens onduidelijk. In het gebied ten noorden van het Texel-IJsselmeer Hoog is de kalksteen dun en het kleigehalte laag. Naar het zuiden gaat de Zechstein 1 Carbonaat over in de *Zechstein 1 Rand Carbonaat* en de *Zechstein 1 Onder-Kleisteel*. De Zechstein 1 Onder-Kleisteel ligt onder de Zechstein 1 Rand Carbonaat. In de boring Lelystad-1 bestaat de Zechstein 1 Kleisteel uit een ongeveer 10 m dik pakket roodbruine en siltige kleisteel.

Typerend voor de boring Doornspijk-2 en Langenholte-1 is het zeer plaatselijk karakter van de kleiige lithologie van de Zechstein 1 Carbonaat. De gehele Zechstein opeenvolging in de boring Doornspijk-2 bestaat voor meer dan 50 % uit klastische bestanddelen (Van Adrichem Boogaert & Burgers, 1983). Deze kleiige eenheid gaat lateraal over in de Zechstein 1 Carbonaat.

De *Zechstein 1 Anhydriet* bestaat op de noordflank van het Texel-IJsselmeer Hoog uit een maximaal 200 m dik pakket anhydriet met ingeschakelde kalkige lagen. In de zone direct ten zuiden van het Texel-IJsselmeer Hoog is geen Zechstein 1 Zout afgezet zodat de onderverdeling in Zechstein 1 Onder- en Boven-Anhydriet hier nog niet noodzakelijk is. De Zechstein 1 Anhydriet bereikt hier een dikte van meer dan 80 m (fig. 4.3a).

Het *Zechstein 1 Zout* is een pakket doorschijnende, kristallijne haliet. Het Zechstein 1 Zout komt slechts voor in het Centraal-Nederlands Bekken en niet ten noorden van het Texel-IJsselmeer Hoog (fig. 4.3a). De dikte van het zoutpakket bedraagt ca. 50 m.

De *Zechstein 1 Boven-Anhydriet* wordt slechts daar onderscheiden waar, in het Centraal-Nederlands Bekken, het Zechstein 1 Zout ontwikkeld is. De dikte van dit pakket anhydriet loopt op tot maximaal 60 m in het Centraal-Nederlands Bekken (fig. 4.3a).

4.1.2 Zechstein 2 Formatie

Onmiddellijk ten zuiden van het kaartbladgebied is de Zechstein 2 Formatie in zijn meest volledige ontwikkeling opgebouwd uit de Zechstein 2 Carbonaat, de Zechstein 2 Basale Anhydriet, het Zechstein 2 Zout en de Zechstein 2 Dakanhydriet (Oost-Flevoland-1; fig. 4.2). Op de noordflank van het Texel-IJsselmeer Hoog is de Zechstein 2 Formatie gedeeltelijk erosief verwijderd.

De dikte van deze formatie varieert zeer sterk van 50 m op de noordflank van het Texel-IJsselmeer Hoog tot meer dan 600 m in het uiterste noorden van het kaartbladgebied. Deze variatie in dikte is het gevolg van verschillen in bekkendaling (synsedimentaire breukbewegingen, fig. 4.2) en van postsedimentaire zoutbewegingen.

De *Zechstein 2 Carbonaat* (Hoofddolomiet) bestaat uit bruinzwarte en beige, compacte kalksteen en dolomiet. De dikte van de Zechstein 2 Carbonaat kan direct ten noorden van het Texel-IJsselmeer Hoog oplopen tot 42 m en in het Centraal-Nederlands Bekken tot ongeveer 50 m. De Hoofddolomiet is in het noordoosten van het kaartbladgebied opgebouwd uit gelamineerde gerekristalliseerde kalksteen. Tussen de kristallen van het calcietscement bevinden zich zones die bestaan uit kleiig en organisch materiaal (appendix I: foto 4a). Fluorescentie toont de aanwezigheid aan van olie of organisch materiaal in situ (appendix I: foto 4b). In het gesteente zijn bivalven en ostracoden aangetroffen.

De zeer kleiige lithologie van de Zechstein 2 Carbonaat in de boring Doornspijk-2 gaat lateraal over in de Zechstein 2 Carbonaat.

De *Zechstein 2 Basale Anhydriet* bestaat uit wit tot beige gekleurde anhydriet. De dikte van de anhydriet is zeer constant, van ca. 8 meter in het noorden tot ca. 10 meter in het zuiden van het kaartbladgebied (fig. 4.3b).

Het *Zechstein 2 Zout* is in het uiterste noorden van het kaartbladgebied afgezet. In de boring Allardsoog-1 is 120 m zout aangeboord. Verder naar het noorden verdikt het Zechstein 2 Zout zich snel. Het Zechstein 2 Zout is wit gekleurd tot doorschijnend. In het Centraal-Nederlands Bekken is deze eenheid niet dikker dan 11 m. Ten noorden van het Texel-IJsselmeer Hoog zijn pakketten kalium-magnesium zouten afgezet die een dikte bereiken tot 20 m (fig. 4.3b).

Met de afzetting van de *Zechstein 2 Dakanhydriet* wordt de Zechstein 2 cyclus in het Centraal-Nederlands Bekken afgesloten. De anhydriet heeft hier een dikte van 10 m. Direct ten noorden van

het Texel-IJsselmeer Hoog is een zone aanwezig waar Zechstein 2 Zout is afgezet dat bedekt wordt door de Zechstein 2 Dakanhydriet (fig. 4.2 & 4.3b). De anhydriet bereikt hier een dikte van maximaal 8 m. Verder naar het noorden is geen Zechstein 2 Dakanhydriet afgezet.

4.1.3 Zechstein 3 Formatie

De Zechstein 3 Formatie wordt onderverdeeld in vier laagpakketten, te weten: de Grijs Zoutklei, de Zechstein 3 Carbonaat, de Zechstein 3 Hoofdanhydriet en het Zechstein 3 Zout. De dikte van de formatie is op het Texel-IJsselmeer Hoog slechts 12 m, maar neemt naar het noorden toe tot 220 m. In het Centraal-Nederlands Bekken is de dikte van de Zechstein 3 Formatie 45 meter.

De *Grijs Zoutklei* is een 2 tot 8 m dikke, grijze kleisteen. De dikte is het grootst op de flanken van het Texel-IJsselmeer Hoog. Deze eenheid heeft een karakteristieke hoge uitslag op de gamma-ray log en maakt hem daardoor zeer geschikt voor regionale correlaties.

De *Zechstein 3 Carbonaat* (Plattendolomiet) is opgebouwd uit een fijnkristallijne, beige tot lichtbruine gelamineerde dolomiet. In de boring Zeewolde-1 is de grote dikte (45 m) van de Plattendolomiet zeer opmerkelijk. De dikte op de noordflank van het Texel-IJsselmeer Hoog ligt rond de 14 meter, terwijl deze verder naar het noorden verder afneemt tot 10 m. De gekernde Zechstein 3 Carbonaat van Zeewolde-1 is over het gehele traject zeer dolomitisch. De dolomiet vertoont een 'vuggy' porositeit die veroorzaakt is door uitloging van kalkige fossielen. De carbonaat is voor het grootste deel opgebouwd uit sterk gelamineerde beige micritische kalksteen of dolomiet. Ten zuidoosten van het Texel-IJsselmeer Hoog is het percentage kleisteen plaatselijk hoog.

De *Zechstein 3 Hoofdanhydriet* bestaat uit witte anhydriet, met in het onderste deel carbonaatinschakelingen en kleilaagjes. De dikte op het kaartblad varieert van enkele meters in het zuiden tot meer dan 100 m in het noordoosten (fig. 4.3c).

Het *Zechstein 3 Zout* is in tegenstelling tot het Zechstein 1 Zout afgezet ten noorden van het Texel-IJsselmeer Hoog en in het Centraal-Nederlands Bekken (fig. 4.2). De dikte is maximaal 90 meter in de boring Allardsoog-1. In deze boring zijn tevens drie niveau's van kalium-magnesium zout herkend die afzonderlijk een dikte van 20 m kunnen bereiken (fig. 4.2). Ook in het Centraal-Nederlands Bekken zijn, meestal in de top van het halietaalpakket, dunne pakketten kalium-magnesium zouten afgezet van enkele meters dik.

4.1.4 Zechstein 4 Formatie

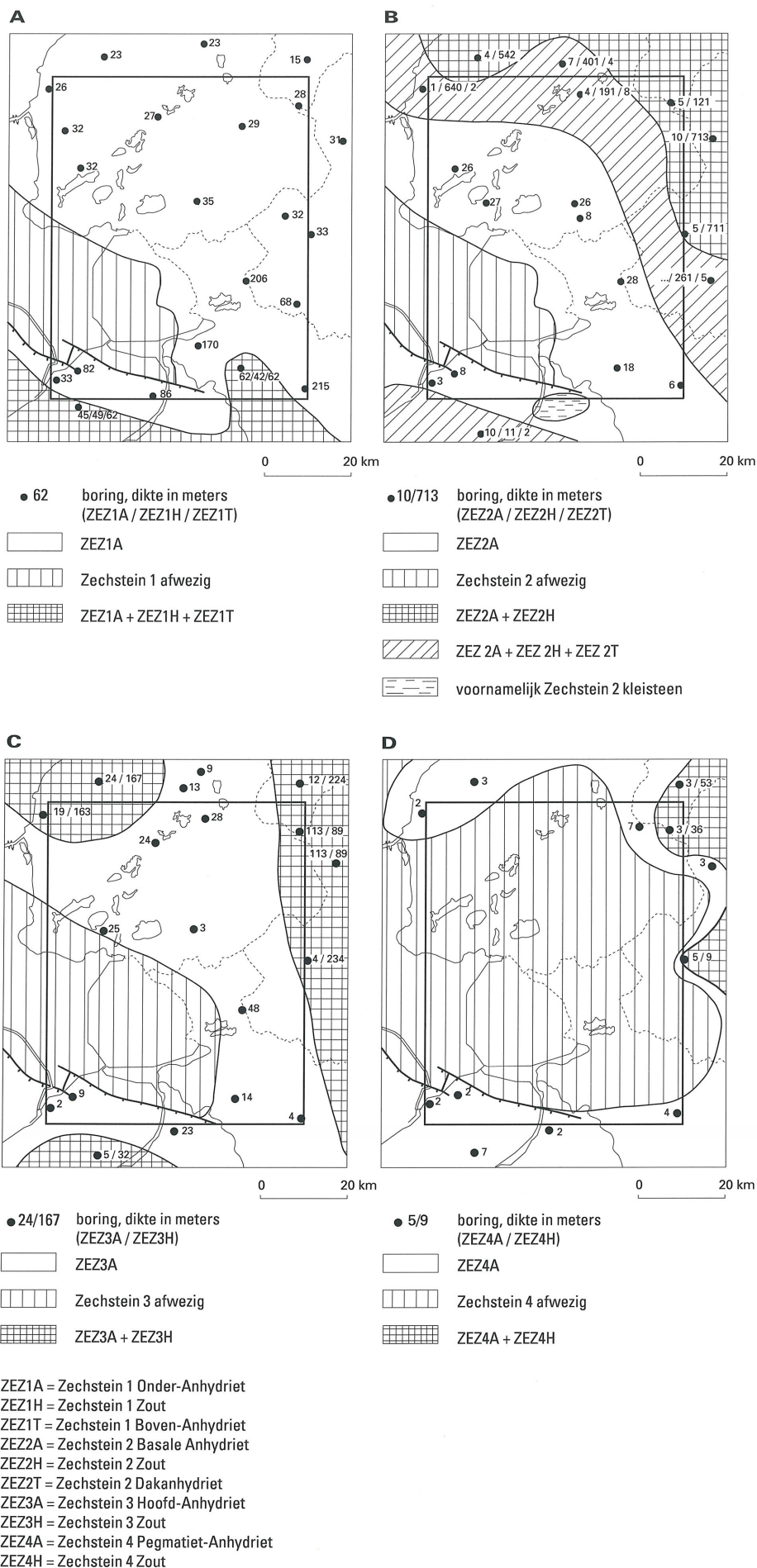
De Zechstein 4 Formatie bestaat in het kaartbladgebied uit de Rode Zoutklei, de Zechstein 4 Pegmatiet-Anhydriet en de Zechstein 4 Zout Laagpakketten.

De *Rode Zoutklei* is gemiddeld 2 tot 10 m dik en bestaat uit rode anhydriet-houdende klei. De Rode Zoutklei wordt zowel ten noorden, als ten zuiden van het Texel-IJsselmeer Hoog aangetroffen. In het zuidoosten van het kaartbladgebied is de Rode Zoutklei enigszins zandig ontwikkeld.

De *Zechstein 4 Pegmatiet-Anhydriet* komt op het kaartbladgebied nauwelijks voor behalve in het Centraal-Nederlands Bekken en enkele voorkomens in het noorden (fig. 4.3d). Deze eenheid is op de logs goed herkenbaar door zijn lage gamma-ray waarde en hoge akoestische snelheid. In het Centraal-Nederlands Bekken is de dikte 2 m, terwijl in het noorden van het kaartbladgebied een maximale dikte van 3 m bereikt wordt (fig. 4.3d).

Figuur 4.3 Verbreiding en dikte van verschillende laagpakketten van de Zechstein Groep binnen het kaartbladgebied.

- a Zechstein 1 Onder-Anhydriet, Zechstein 1 Zout en Zechstein 1 Boven-Anhydriet.
b Zechstein 2 Basale Anhydriet, Zechstein 2 Zout en Zechstein 2 Dakanhydriet.
c Zechstein 3 Hoofdanhydriet en Zechstein 3 Zout.
d Zechstein 4 Pegmatiet-Anhydriet en Zechstein 4 Zout.



Het *Zechstein 4 Zout* komt in het gebied, behalve in het uiterste noordoosten, nagenoeg niet voor. De evaporitische serie sluit af met steenzout en een dunne anhydrietlaag (Allardsoog-1). Het *Zechstein 4 Zout* bereikt direct ten noordoosten van het kaartbladgebied een dikte van 53 m (Boerakker-1). Een inschakeling van enkele meters kalium-magnesium zout is doorgaans in de top van het halietpakket aanwezig. In het Centraal-Nederlands Bekken is er weinig *Zechstein 4 Zout* aanwezig en bedraagt de dikte maximaal 7 m (fig. 4.3d).

4.1.5 Boven-Zechstein Kleisteen Formatie

De Boven-Zechstein Kleisteen Formatie is een anhydritisch kleisteenpakket tussen de Pegmatiet-Anhydriet en de basis van de Onder-Germaanse Trias Groep. NAM & RGD (1980) rekenen dit kleiige overgangspakket om praktische redenen tot de Onder-Germaanse Trias. In de herziene stratigrafische nomenclator van RGD & NOGEPA (1993) wordt deze formatie tot het bovenste deel van de *Zechstein* gerekend. Het kleisteenpakket van de Boven-Zechstein is in het gehele kaartblad aanwezig, behalve op de kruin van het Texel-IJsselmeer Hoog.

In het kaartbladgebied bestaat het Boven-Zechstein in het uiterste noorden en zuiden uit een dunne serie anhydritische kleistenen met een lage akoestische snelheid. De dikte varieert van 35 m in het oosten van het kaartbladgebied tot 8 m in het Centraal-Nederlands Bekken.

Het betreffende anhydritische kleisteenpakket aan de top van de evaporitische *Zechstein* Groep wordt in deze toelichting informeel de Boven-Zechstein Kleisteen Formatie genoemd en wordt niet beschouwd als een nieuwe *Zechstein* cyclus. Dit omdat er, gezien de beperkte lithologische ontwikkeling (slechts klei en anhydriet), geen sprake is van een complete, nieuwe cyclus.

4.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

Gedurende de afzetting van de *Zechstein* Groep was er sprake van een voorloper van het huidige Texel-IJsselmeer Hoog, dat omsloten werd door twee bekkens. In het zuiden lag een subbekken van het Zuidelijk Perm Bekken, het Centraal-Nederlands Bekken. Ten noorden van het hoog lag het hoofdbekken dat zich verder naar het noorden snel verdiepte. Dit continentale bekken was aan het eind van het Vroeg-Perm als gevolg van een snelle transgressie, mogelijk onder catastrofale omstandigheden volgestroomd (Glennie & Buller, 1983). Het proto-*Texel-IJsselmeer Hoog* was wat groter dan het huidige *Texel-IJsselmeer Hoog* en lag ook iets noordelijker.

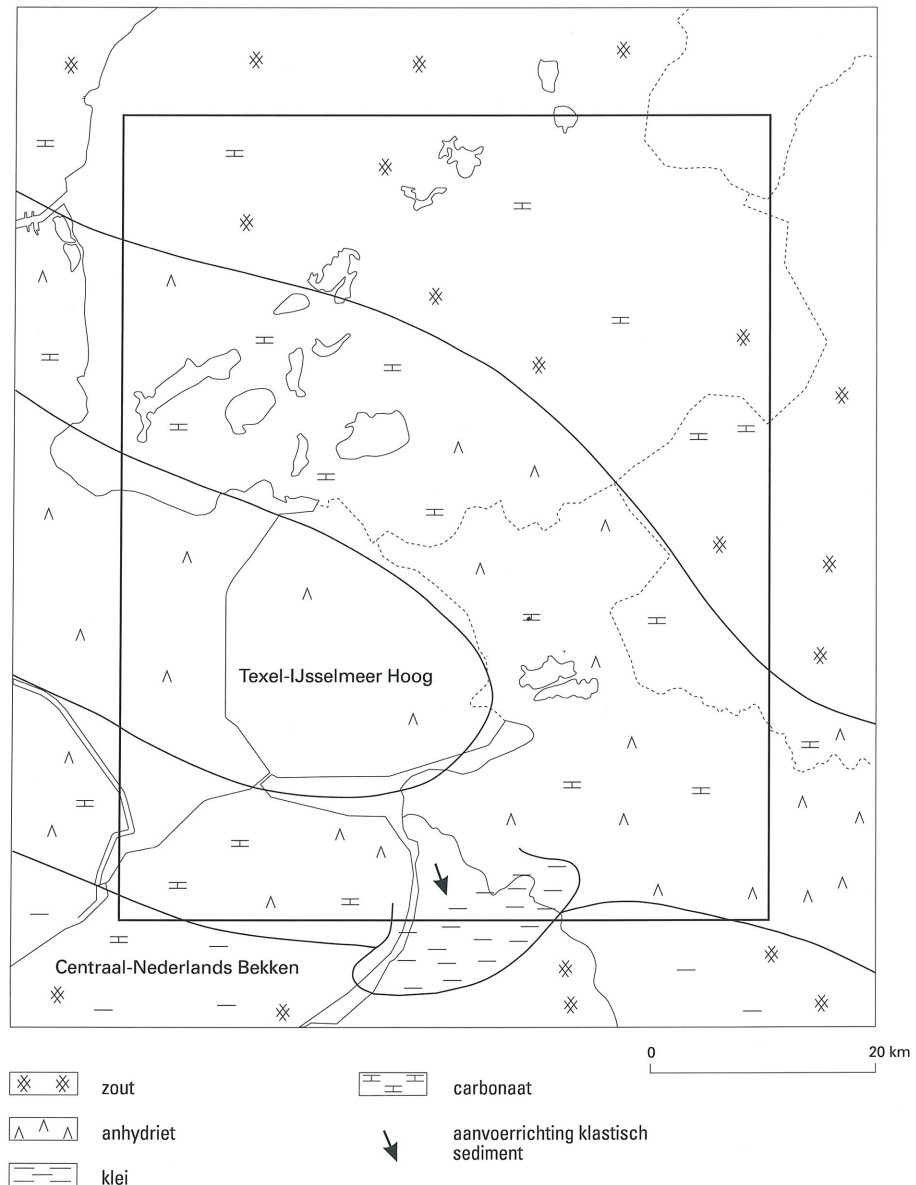
Het kaartbladgebied is gelegen aan de zuidrand van het Zuidelijk Perm Bekken en zowel de evaporitische centrale bekkenfacies als de kleiige randfacies is ontwikkeld. Met name ten zuiden van het *Texel-IJsselmeer Hoog* is de invloed van de randfacies goed waar te nemen. Op het hoog is een overwegend carbonaat/anhydriet platformfacies ontwikkeld. Tijdens afzetting van de *Zechstein* Groep waren het Centraal-Nederlands Bekken, het *Texel-IJsselmeer Hoog* en het hoofdbekken (van het Zuidelijk Perm Bekken) in het noorden van het kaartblad de belangrijkste structuren in het gebied. Het feit dat de lithologische eenheden van de *Zechstein* cycli over het *Texel-IJsselmeer Hoog* goed te vervolgen zijn, wijst erop dat de bekkens rondom het *Texel-IJsselmeer Hoog* regelmatig met elkaar in verbinding stonden (fig. 4.3a t/m d).

Ondanks het feit dat er veel erosie heeft plaats gevonden tijdens de Laat-Kimmerische tektonische fasen, is het duidelijk dat er een zeker reliëf (o.a. het *Texel-IJsselmeer Hoog*) aanwezig was tijdens de afzetting van de *Zechstein* (fig. 4.4). De hoge klastische influx aan de zuidrand van het *Texel-IJsselmeer Hoog*, tijdens verschillende *Zechstein* cycli, bevestigt dit vermoeden. De door klei

gedomineerde kalksteenpakketten komen voor in een zone direct ten zuiden van het Texel-IJsselmeer Hoog. Verder naar het zuiden zijn weer evaporieten afgezet. De door klastische sedimenten gedomineerde bekkenrand ligt verder naar het zuiden (Van Adrichem Boogaert & Burgers, 1983). De relatief hoge klastische influx in de boring Doornspijk-2 kan verklaard worden door een deel van het Texel-IJsselmeer Hoog als noordelijk brongebied aan te nemen (fig. 4.4).

De sedimentaire opeenvolging van de Zechstein Groep begint met de Koperschalie, die is afgezet in een euxinisch bekken (Taylor, 1986). Tijdens afzetting van de Zechstein sedimenten vond afwisselend instroming en indamping plaats. Elke nieuwe influx van vers zeewater komt tot uiting in de vorm van een indampingscyclus.

Figuur 4.4 Paleogeografie tijdens het Laat-Perm in en direct rondom het kaartbladgebied. Opvallend is de ontwikkeling van carbonaat en anhydriet facies op het Texel-IJsselmeer Hoog en de kleiige sedimentatie in het uiterste zuiden.



Tijdens de eerste indampingscyclus is in het Centraal-Nederlands Bekken een complete indampingsserie afgezet. De carbonaten werden in een open marien milieu gevormd. Een afnemende hoeveelheid zeewater leidde, in combinatie met de hoge verdamping en een daardoor veroorzaakte daling van het zeeniveau, tot een toename van de saliniteit. Uit deze hypersaline oplossing sloegen allereerst sulfaten neer. De dikte van de Zechstein 1 Anhydriet op de zuidflank van het Texel-IJsselmeer Hoog bereikt opmerkelijke hoge waarden (fig. 4.2). In dit ondiepe bereik was een hoge sedimentatiesnelheid van sulfaatkristallen mogelijk (Van der Baan, 1990). De gips werd later, na dehydratie, omgezet in anhydriet. Op deze wijze zijn op en rond de paleohogen, die ontstaan waren tijdens de Varistische orogenese, anhydrietplatforms ontstaan (Richter-Bernburg, 1986). In het kaartbladgebied zijn anhydrietplatforms gedurende de Zechstein 1, 2 en 3 cycli aanwezig langs de randen van het Texel-IJsselmeer Hoog. Op deze ondiepe anhydrietplatforms konden tijdens latere Zechsteincycli carbonaatplatforms en barrièresystemen ontstaan. Naast anhydriet/gips werd in het Centraal-Nederlands Bekken ook haliet afgezet.

De evaporitische sequentie van de Zechstein 2 Formatie vertoont grote gelijkenis met die van de Zechstein 3 Formatie. Beide Formaties laten aan de randen van het Texel-IJsselmeer Hoog een relatief dikke ontwikkeling van carbonaten en anhydrieten en in de bekkens een dikke halietontwikkeling zien. Een belangrijk verschil is de grotere dikte van de Zechstein 3 Anhydriet ten noorden van het Texel-IJsselmeer Hoog t.o.v. de Zechstein 2 cyclus (fig. 4.2), en het voorkomen van polyhalietlagen in het hoofdbekken. De snelle laterale diktetoename van de Zechstein 3 pakketten in het Centraal-Nederlands Bekken en ten noorden van de IJn Leeuwarden – Allardsoog duidt op synsedimentaire breuktektoniek.

Na de transgressie aan het begin van de vierde cyclus werden de Rode Zoutklei en Pegmatiet-Anhydriet onder voortdurend hypersaliene omstandigheden afgezet. Terwijl de carbonaten van deze indampingscyclus op het gehele kaartbladgebied ontbreken, zijn sedimenten van de Rode Zoutklei en Zechstein 4 Pegmatiet-Anhydriet overal met een zeer constante dikte terug te vinden. In het Centraal-Nederlands Bekken is nog een halietpakket van enkele meters afgezet. De laatste reliëfverschillen werden aan het eind van het Perm opgevuld. Aangenomen wordt dat de afzetting van de Zechstein 4 Formatie en de Boven-Zechstein plaats vond op een grote vlakte aan de rand van het Zuidelijk Perm Bekken, in een playa-achtig milieu. De sedimentatie nam af onder regressieve omstandigheden.

4.3 Zoutkussens

In het oosten en noordoosten van het kaartbladgebied bevinden zich verdikkingen van zout, zoals de zoutkussens bij De Wijk, Dwingeloo en Steenberg (Rijks Geologische Dienst, 1988; fig. 9.2). De verdikking van de Zechstein op de hierboven genoemde lokaties komt slechts voor als een verdikking van het Zechstein zout ten gevolge van halokinese. Deze Zechstein structuren bereiken een dikte van meer dan 1000 m (Kaart 4).

Het zoutkussen De Wijk (Kaart 4) ligt voor het grootste deel in het kaartbladgebied en aan de rand van de Noord-Nederlandse zoutprovincie. De top van de structuur ligt op een diepte van 1400 m. Boven het zoutkussen bevinden zich de Onder- en een gedeelte van de Hoofd-Bontzandsteen. Op de oostelijke flank van de structuur zijn sedimenten van de Boven-Germaanse Trias aanwezig. Hier bovenop liggen discordant de sedimenten van de Rijnland, de Krijtkalk Groep en de Noordzee Supergroep. De eerste opwelling van zout begon in Noord-Nederland al tijdens de Trias (Visser & Sung, 1958; Gdula, 1983). Tijdens het Krijt was het zoutkussen relatief inactief. De basis van het Tertiair ligt boven het zoutkussen, ca. 100 – 150 m boven het regionale niveau. Het gehele pakket Krijt sedimenten heeft, als gevolg van zoutbeweging tijdens het Laat-Krijt, boven het zoutkussen een zeer zwakke anticlinale structuur. De basis van de Formatie van Breda ligt 60 – 110 m hoger

dan het regionale niveau, waaruit geconcludeerd mag worden dat groei van het zoutkussen plaats vond tot in het Mioceen.

Het zoutkussen Dwingeloo (Kaart 4) bevindt zich op de oostelijke begrenzing van het kaartbladgebied. De totale dikte van de sedimenten van de Zechstein Groep in deze zoutstructuur bedraagt 1050 m. De top van de structuur ligt op een diepte van 1350 m. De zoutstructuur vormt een onderdeel van een O-W georiënteerde structuur, die zich in oostelijke richting, mogelijk tot aan de Duitse grens, uitstrekt. Onder de zoutstructuur van Dwingeloo bevindt zich een afschuiving, die de halokinese kan hebben geïnitieerd. De diepteligging van de basis van het Tertiair bedraagt ca. 200 – 300 m minder dan regionaal gesproken verwacht mag worden. Ten westen van het zoutkussen van Dwingeloo hebben zouttektonische bewegingen afschuivingen gegenereerd, waardoor het Onder-Tertiaire sedimentpakket daar sterk verdikt is. Boven het kussen ligt de basis van de Formatie van Breda maximaal 40 m boven zijn regionaal verwachte diepte. De sterkste zoutstijging van de structuur van Dwingeloo heeft plaats gevonden gedurende het Vroeg-Tertiair. Zoutbewegingen gedurende de Trias zijn hier van minder belang.

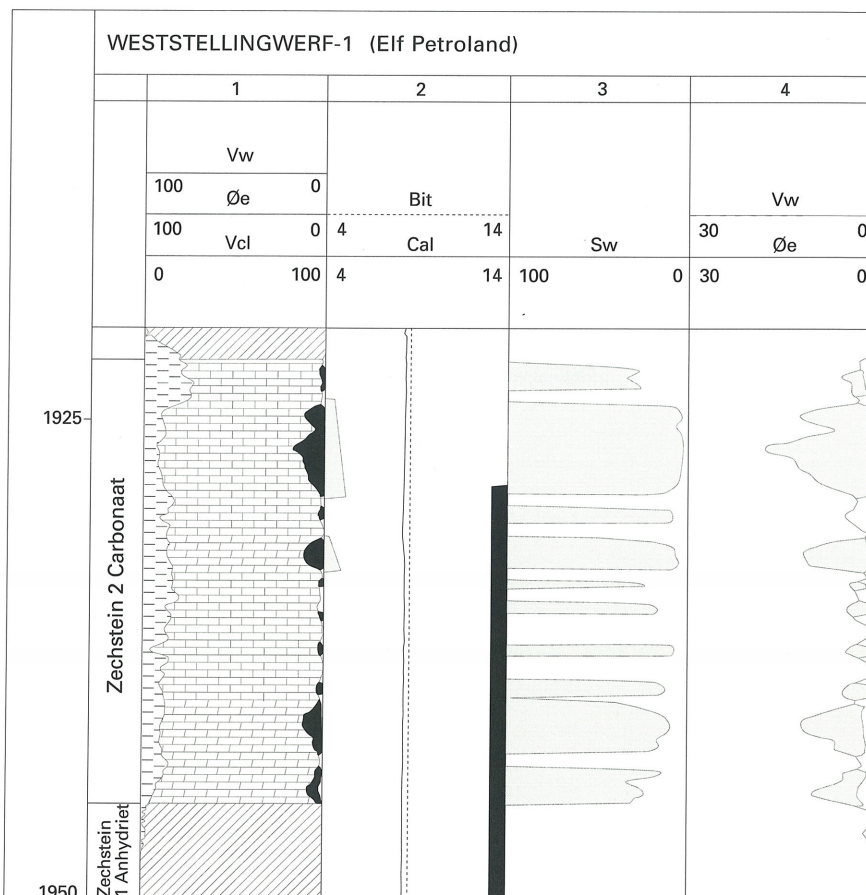
Het zoutkussen Steenbergen (Kaart 4) ligt in het uiterste noordoosten van het kaartbladgebied en bevindt zich bij een breukstructuur die zich naar het NNW voortzet (de Hantum Breuk; fig. 1.7). De totale dikte van de Zechstein sedimenten bedraagt 1100 m. De top van de zoutstructuur ligt op een diepte van 1600 m. De verdikking van het Zechstein zout en de afschuiving in het basement bij de Hantum breuk zijn weergegeven in profiel 3 (Kaart 18). De afschuiving in het basement, met een zich bros gedragend, afdekkend sedimentpakket, heeft direct boven de afschuiving de slenkstructuur doen ontstaan (Rijks Geologische Dienst, 1991b; Richards, 1991). In het zich bros gedragende afdekkend sedimentpakket, de sedimenten van de Rijnland, en de Krijtkalk Groepen en van de Noordzee Supergroep, hebben zich synthetische en antithetische breuken gevormd, waarschijnlijk als gevolg van een Tertiaire dextrale zijschuiving (Rijks Geologische Dienst, 1991b). Het plastische gedrag van het Zechstein zout heeft bij de zijschuiving voor ontkoppeling van het basement en het afdekkend pakket gezorgd. Als gevolg van halokinese is boven het zoutkussen een diepe slenk ontstaan.

4.4 Petrofysische evaluatie

In 1948 werden door de NAM commerciële hoeveelheden aardgas in Zechstein carbonaatreservoirs ontdekt in het zuiden van de provincie Drenthe. De Zechstein 2 Carbonaat is sinds die tijd in Nederland een succesvol exploratiedoel. In het kaartbladgebied zijn vijf gasvelden in de Zechstein 2 Carbonaat aangetoond (fig. 1.2).

De Zechstein 2 Carbonaat is van twaalf boringen in het kaartbladgebied geëvalueerd (appendix E), waarvan er bij vier koolwaterstoffen zijn aangetoond (appendix F). Als voorbeeld van een logevaluatie van het Zechstein 2 Carbonaat reservoirtraject wordt in figuur 4.5 het resultaat getoond van de boring Weststellingwerf-1.

Figuur 4.5 Petrofysische evaluatie van het Zechstein 2 Carbonaat traject in de boring Weststellingwerf-1. Kolom 1: kleigehalte Vcl, effectieve porositeit ϕ_e en poriënvolume water Vw, alle in procenten. Het kleigehalte werd bepaald m.b.v. de gamma-ray log. De effectieve porositeit werd verkregen door gebruik te maken van het 'complex lithology model' (density, neutron en sonic logs), waarbij de berekende porositeit gecorrigeerd werd voor de aanwezige klei en de aanwezige koolwaterstoffen. Kolom 2: boorgatdiameter (Cal) en boorteldiameter (Bit), beide in inches; bovendien zijn de geteste intervallen (appendix F) weergegeven d.m.v. trapezia, en het gekernde interval d.m.v. een zwarte balk. Kolom 3: de watersaturatie Sw, in procenten. Voor de bepaling van de watersaturatie werd de Archie-formule gebruikt (Fertl, 1987). Kolom 4: effectieve porositeit ϕ_e (linker curve) en poriënvolume water Vw (rechter curve), beide in procenten. In de linkerkolom zijn de formatiegrenzen aangegeven. Diepten zijn werkelijke diepten.



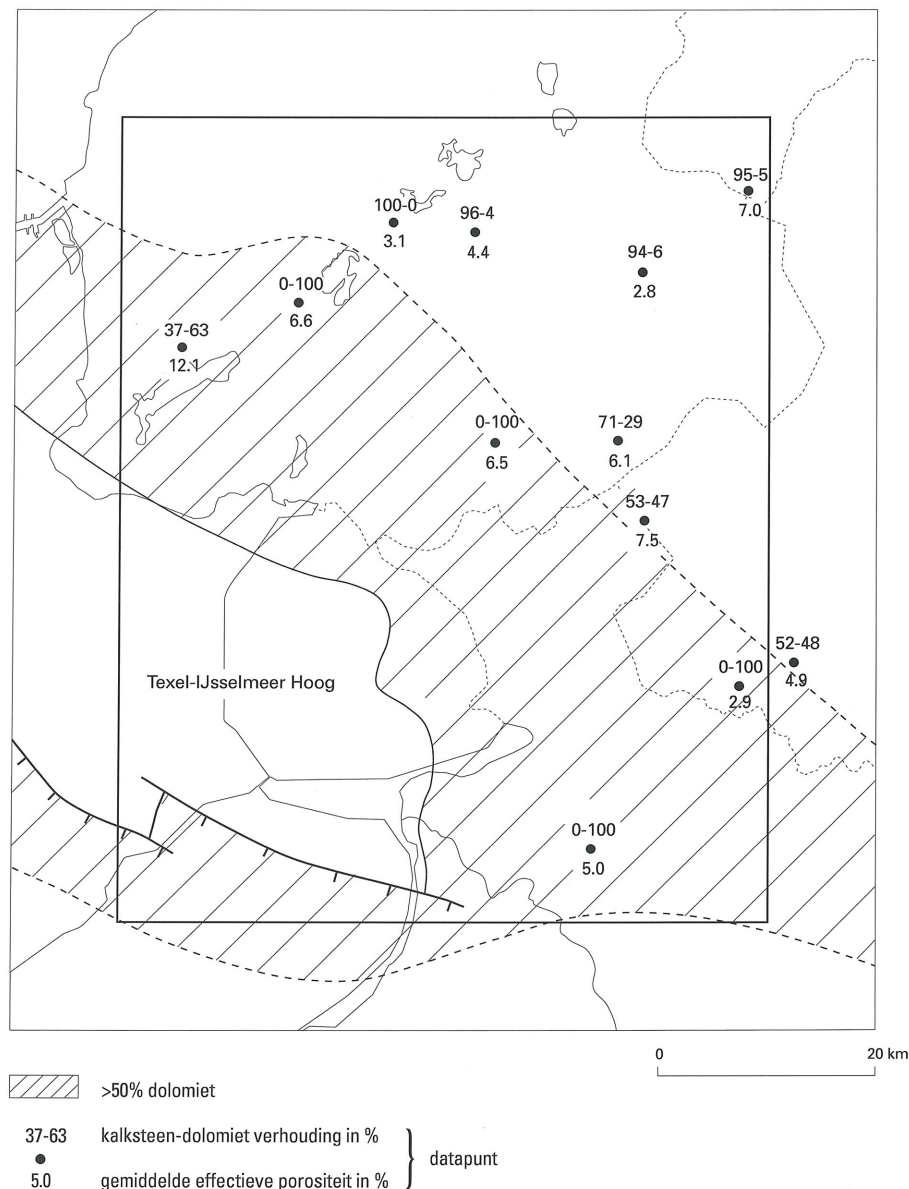
Legenda kolom 1

	klei percentage		koolwaterstoffen percentage
	dolomiet percentage		water percentage
	kalksteen percentage		
	anhydriet percentage		

Van twaalf boringen is de verhouding kalksteen/dolomiet berekend en weergegeven in figuur 4.6. In deze figuur staan tevens de gemiddelde effectieve porositeiten van de onderzochte boringen aangegeven. Deze effectieve reservoir-porositeiten variëren sterk over het Zechstein 2 Carbonaat-traject (RGD, 1993a).

De Zechstein 2 Carbonaat is in kaartbladgebied V afgezet in verschillende afzettingmilieus (platform-, helling- en bekkenfacies). Dolomitatie heeft in het bijzonder plaats gevonden binnen het bereik van de platformfacies (fig. 4.4 & 4.6) en is op de noordelijke flank van het Texel-IJsselmeer Hoog opgetreden gedurende een vroeg-diagenetische fase (Van der Poel, 1987). De porositeit van de Zechstein 2 Carbonaat is het gevolg van diagenetische processen en vooral van uitloging die heeft plaats gevonden in de, gedurende de Midden- en Laat-Jura, opgeheven carbonaten van het Texel-IJsselmeer Hoog en het Friesland Platform (Van der Baan, 1990).

Figuur 4.6 Effectieve porositeit ϕ_{em} (in procenten) van de Zechstein 2 Carbonaat en de verhouding kalksteen-dolomiet in de Zechstein 2 Carbonaat. Het gebied met meer dan 50 % dolomiet is in de figuur gearceerd aangegeven. De verhouding kalksteen-dolomiet is berekend bij de reservoir evaluatie (RGD, 1993a). De effectieve porositeitswaarden staan tevens weergegeven in appendix E. Op het Texel-IJsselmeer Hoog is de Zechstein 2 Carbonaat afwezig door erosie.

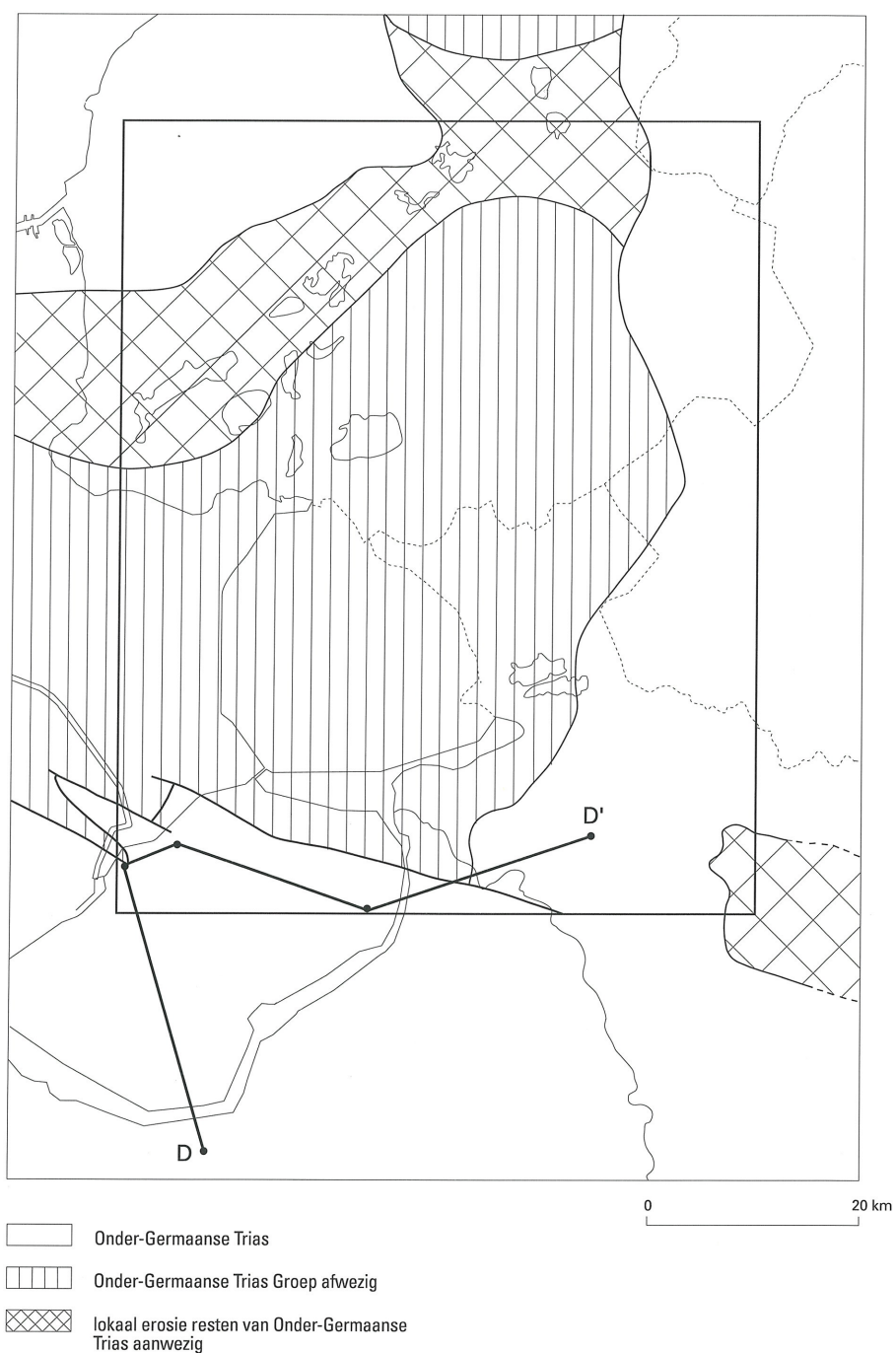


5 Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep

5.1 Algemeen

De Trias afzettingen bestaan uit rood en groen gekleurde klastische sedimenten en grijs gekleurde kalken en mergels en evaporieten. Binnen de Trias afzettingen worden een Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep onderscheiden. Binnen het kaartbladgebied zijn afzettingen van Laat-Perm, Vroeg-, Midden- en Laat-Trias ouderdom aanwezig.

Figuur 5.1 Verbreidingskaart van de Onder-Germaanse Trias Groep in het kaartbladgebied en ligging van stratigrafisch correlatieprofiel D-D'. In de figuur is een zone aangegeven waar de Onder-Bontzandsteen Formatie seismisch niet herkend is, maar waar wel dunne erosieresten zijn aangeboord.



De gehele Trias is afwezig op het Texel-IJsselmeer Hoog en het Friesland Platform. Afzettingen van de Onder-Germaanse Trias komen zowel in het noorden, het oosten als het zuiden van het kaartbladgebied voor. Afzettingen van de Boven-Germaanse Trias Groep komen daarentegen slechts voor ten zuiden van het Texel-IJsselmeer Hoog en in het oosten van het kaartbladgebied (fig. 5.1). De grootste diktes worden bereikt in het zuidoosten van het kaartbladgebied (Kaart 6).

De stratigrafische opbouw van de Trias afzettingen wordt geïllustreerd door middel van een logcorrelatieprofiel (fig. 5.2) en een lithostratigrafisch diagram (5.3) van de Trias afzettingen direct ten zuiden van het Texel-IJsselmeer Hoog.

5.2 Onder-Germaanse Trias Groep

5.2.1 Stratigrafie

De Onder-Germaanse Trias Groep bestaat uit de Onder-Bontzandsteen en de Hoofd-Bontzandsteen Formatie. De Onder-Germaanse Trias Groep is voornamelijk opgebouwd uit continentaal afgezette roodbruine klei-, silt- en zandstenen. De Onder-Germaanse Trias Groep is afgezet gedurende het jongste Laat-Perm en het Vroeg-Trias (Scythien).

De Onder-Germaanse Trias is in het studiegebied ten zuiden van het Texel-IJsselmeer Hoog aanwezig (Kaart 5). Op de Netherlands Swell (fig. 11.1) en op het Texel-IJsselmeer Hoog is de gehele Onder-Bontzandsteen Groep afwezig. De Netherlands Swell is een gedurende de Trias ontstane NNO-ZZW strekkende opwelling in Nederland, waarboven de Onder-Germaanse Trias is geërodeerd (fig. 11.1).

De Onder-Germaanse Trias Groep is in het kaartbladgebied aanwezig met diktes tot ruim 400 m. Figuur 5.1 toont de verbreiding van de Onder-Germaanse Trias Groep in het kaartbladgebied, en tevens een zone in het noorden waarin dunne erosieresten van deze groep zijn overgebleven, maar die echter met de beschikbare seismiek niet karteerbaar is gebleken. De begrenzing van deze zone staat op Kaart 5 en 6 weergegeven.

De Onder-Germaanse Trias Groep ligt concordant op de Zechstein Groep. In het kaartbladgebied wordt de Onder-Germaanse Trias Groep discordant bedekt door verschillende formaties. In het Centraal-Nederlands Bekken is dat de Boven-Germaanse Trias Groep; in het noorden en het oosten van het kaartbladgebied de Nedersaksen en de Rijnland Groep (Kaart 16).

5.2.1.1 Onder-Bontzandsteen Formatie.

De Onder-Bontzandsteen Formatie is opgebouwd uit de Basale Bontzandsteen, de Hoofdkleisteel en de Rogenstein Laagpakketten. De dikte van de formatie varieert in het kaartbladgebied tussen de 350 en de 425 m.

De Onder-Bontzandsteen Formatie ligt concordant op de sedimenten van de Zechstein Groep. Het verbreidingsgebied van de Onder-Bontzandsteen en dus ook van de Onder-Germaanse Trias Groep is weergegeven in figuur 5.1. In het grootste gedeelte van het kaartbladgebied is het laagpakket als gevolg van erosie incompleet. In een groot deel van het kaartbladgebied is de Onder-Bontzandsteen Formatie niet aanwezig (Kaart 5).

De *Basale Bontzandsteen* bestaat uit een dunne zandsteenlaag en een bovenliggend

kleisteenpakket. Het gehele pakket is niet dikker dan 15 m en toont op de gamma-ray log naar de top toe grotere positieve uitslag. Het pakket is siltig en bevat anhydrietcement.

Een sedimentologische studie van de Onder-Bontzandsteen en de Hoofdkleisteel in Noordwest-Duitsland heeft aangetoond dat deze zijn opgebouwd uit cycli waarbinnen de korrelgrootte naar boven toe afneemt (Wolburg, 1961; Brüning, 1986). De door NAM & RGD (1980) gedefinieerde lithostratigrafische grens tussen deze twee laagpakketten blijkt midden in een dergelijke sedimentaire cyclus te liggen. De Basale Bontzandsteen, volgens dezelfde definitie van NAM & RGD (1980), omvat tevens equivalenten van hogere Zechstein cycli. De ondergrens van de Basale Bontzandsteen is in deze toelichting zodanig verlegd, dat hij overeenkomt met de onderste klastische cyclus van de Trias (Rijks Geologische Dienst, 1991a). De beschrijving van de Basale Bontzandsteen komt dan overeen met de "Obere Bröckelschiefer" in Duitsland (Best, 1989). De *Hoofdkleisteel* bestaat uit een cyclische opeenvolging van naar boven toe verfijnde sequenties, met aan de basis dunne, fijnkorrelige zandsteenbanken. De sedimenten van het laagpakket zijn siltig en bevatten anhydriet. Anhydriet wordt doorgaans in kleine lenzen in de roodbruine kleisteel aangetroffen.

Uit de ontwikkeling van verschillende, goed herkenbare cycli in het sedimentpakket van de Hoofdkleisteel in boringen rondom het Texel-IJsselmeer Hoog is af te leiden dat er weinig dikteverschillen zijn (RGD, 1989). De dikte van de Hoofdkleisteel is vrij constant in het kaartbladgebied en varieert tussen de 120 m in het Centraal-Nederlands Bekken en 160 m in het zuidoosten van het kaartbladgebied.

De *Rogenstein* ligt concordant op de Hoofdkleisteel en bestaat uit rode en groene anhydriet-houdende schalies, die afgewisseld worden door oölietbanken. De oölietbanken zijn op boorlogs goed herkenbaar aan de lage gamma-ray waarde, de hoge weerstandswaarde en de verhoogde akoestische snelheid. Het aantal oölietbanken varieert van 5 tot 10 stuks en deze zijn niet dikker dan enkele meters. Het gehele Rogenstein Laagpakket heeft in het Centraal-Nederlands Bekken een maximale dikte van 190 m (Langenholte-1; fig. 5.2).

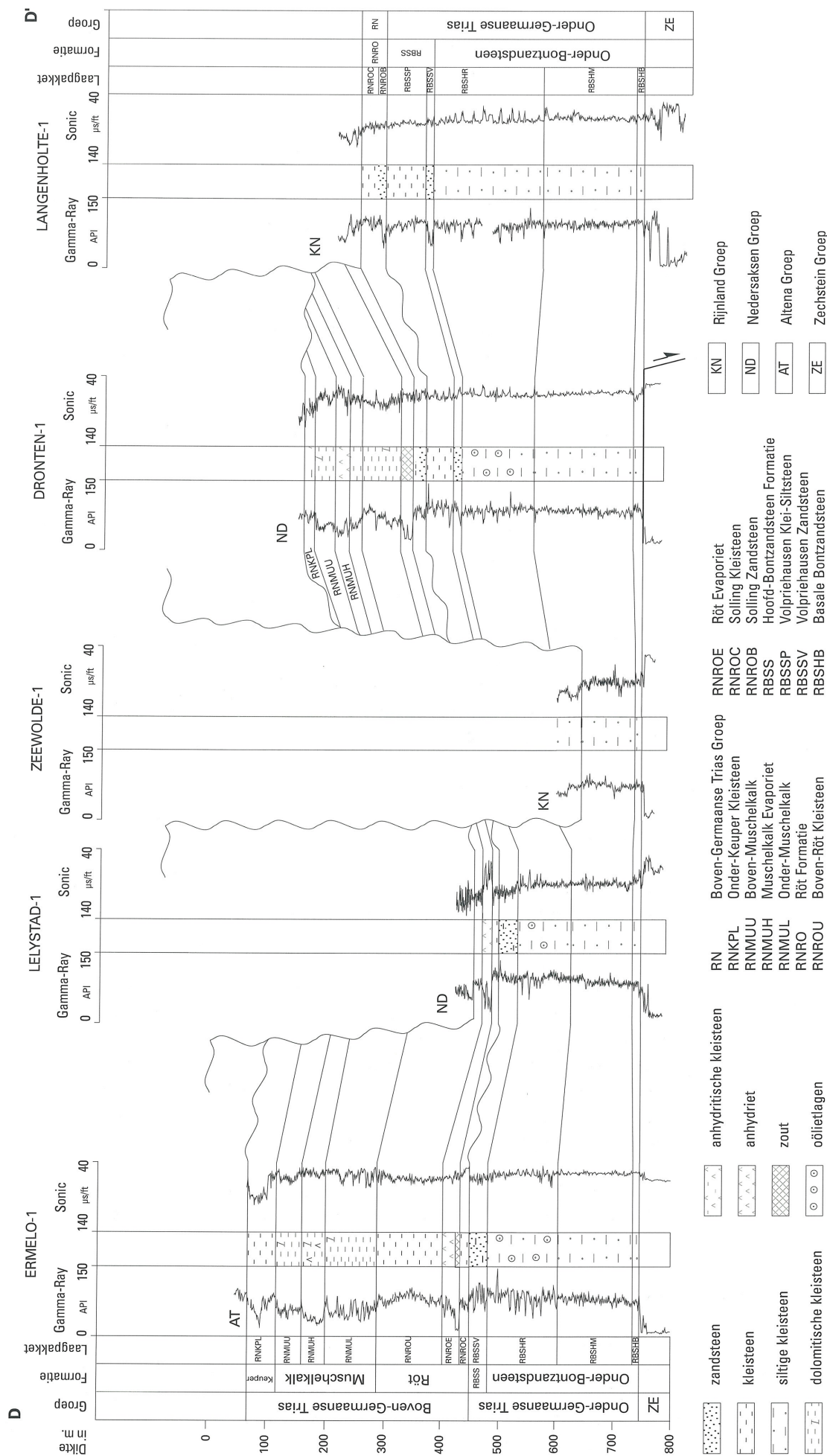
In het kaartbladgebied wordt de Rogenstein meestal concordant bedekt door de Volpriehausen Zandsteen van de Hoofd-Bontzandsteen Formatie. Plaatselijk ligt de Solling Kleisteel van de Röt Formatie discordant op het Rogenstein Laagpakket als gevolg van erosie van de Hardeggen tektonische fase (fig. 5.3).

5.2.1.2 Hoofd-Bontzandsteen Formatie

In het kaartbladgebied worden de twee onderste laagpakketten van de Hoofd-Bontzandsteen Formatie onderscheiden; van oud naar jong, de Volpriehausen Zandsteen en de Volpriehausen Klei-Siltsteen (fig. 5.3). Ten oosten van het kaartbladgebied, in de gebieden waar de opeenvolging van de Hoofd-Bontzandsteen compleet is, wordt de Volpriehausen Klei-Siltsteen gevolgd door de Detfurth Zandsteen, de Detfurth Kleisteel en het Hardeggen Laagpakket.

De Hoofd-Bontzandsteen Formatie is opgebouwd uit zand- en kleistenen. De zandsteenpakketten zijn massief en bevatten weinig kleisteel inschakelingen. De kleistenen hebben een duidelijke roodbruine kleur en bevatten een variabele hoeveelheid silt en zand.

De formatie ligt concordant op de Onder-Bontzandsteen Formatie, en wordt discordant bedekt door het Solling Laagpakket van de Röt Formatie. Waar de Solling Kleisteel direct op de kleistenen



Figuur 5.2 Stratigrafisch correlatieprofiel D-D' van de Trias afzettingen in het zuiden van het kaartgebied. Het referentieniveau is de basis van de Onder-Bontzandsteen Formatie. In de boringen Ermelo-1 en Dronten-1 zijn Keuper en Muschelkalk sedimenten aanwezig. De lokatie van D-D' is aangegeven in figuur 5.1.

van de Onder-Bontzandsteen ligt (fig. 5.2) is de basis ervan op de logs moeilijk te herkennen. Soms is er een kleilaag in de Hoofdkleisteel of in de Rogenstein te herkennen met een karakteristieke hoge gamma-ray, die mogelijk een paleosol representeert. De paleosol is dan gerelateerd aan het hiaat en de discordantie aan de basis van de Röt Formatie.

De dikte van het sedimentpakket van de Hoofd-Bontzandsteen Formatie varieert in het kaartbladgebied als gevolg van erosie tijdens de Hardeggen en de Kimmerische tektonische fasen. Van de Hoofd-Bontzandsteen Formatie resteert in het kaartbladgebied niet meer dan 85 m.

De *Volpriehausen Zandsteen* is de onderste eenheid van de Hoofd-Bontzandsteen Formatie en werd slechts aangetroffen in het zuiden van het kaartbladgebied. De korrels van de roodbruin gekleurde, schone zandstenen zijn fijn tot medium van grootte en zijn redelijk tot goed afgerond.

Het zandsteenpakket heeft een goed herkenbare lage uitslag op de gamma-ray log met een blokkig karakter. De dikte van de *Volpriehausen Zandsteen* in het kaartbladgebied bereikt een waarde tot 15 m (Langenholte-1; fig. 5.2).

De *Volpriehausen Klei-Siltsteen* bestaat uit een dik pakket roodbruine tot groene kleisteel, dunne zandsteenlenzen en anhydrietknollen. Het laagpakket is aan de basis zeer kleilig, waardoor het contact met de *Volpriehausen Zandsteen* zeer scherp is. Naar boven toe worden de sedimenten grofkorreliger. De dikte van de *Volpriehausen Klei-Siltsteen* varieert van 85 m in het oosten tot 50 m in het zuiden van het kaartbladgebied (fig. 5.2).

5.3 Boven-Germaanse Trias Groep

5.3.1 Stratigrafie

Deze groep is in het kaartbladgebied opgebouwd uit de Röt Formatie, de Muschelkalk Formatie en de Keuper Formatie. Deze formaties bevatten klastische sedimenten, kalken, mergels en evaporieten. De groep is afgezet gedurende Midden- en Laat-Trias (Laat-Scythien tot Norien).

In het kaartbladgebied zijn de sedimenten van de Boven-Germaanse Trias Groep slechts aanwezig in het Centraal-Nederlands Bekken. Dronten-1 bevat, naast Lelystad-1 en Langenholte-1, als één van de weinige boringen op het kaartblad een traject van 210 m Boven-Germaanse Trias sedimenten. Direct ten noorden van deze boring loopt de zuidelijke randbreuk van het Texel-IJsselmeer Hoog, die hier tevens de verbreidingsgrens van de Trias vertegenwoordigt (Kaart 6 & fig. 5.1). Ten zuiden van het kaartbladgebied, naar de as van het Centraal-Nederlands Bekken, neemt de totale dikte van de sectie toe tot ca. 400 m.

In het kaartbladgebied ligt de Boven-Germaanse Trias Groep discordant op de Onder-Germaanse Trias Groep en wordt, eveneens discordant, bedekt door de sedimenten van de Altena Groep, van de Rijnland Groep of van de Noordzee Supergroep.

5.3.1.1 Röt Formatie

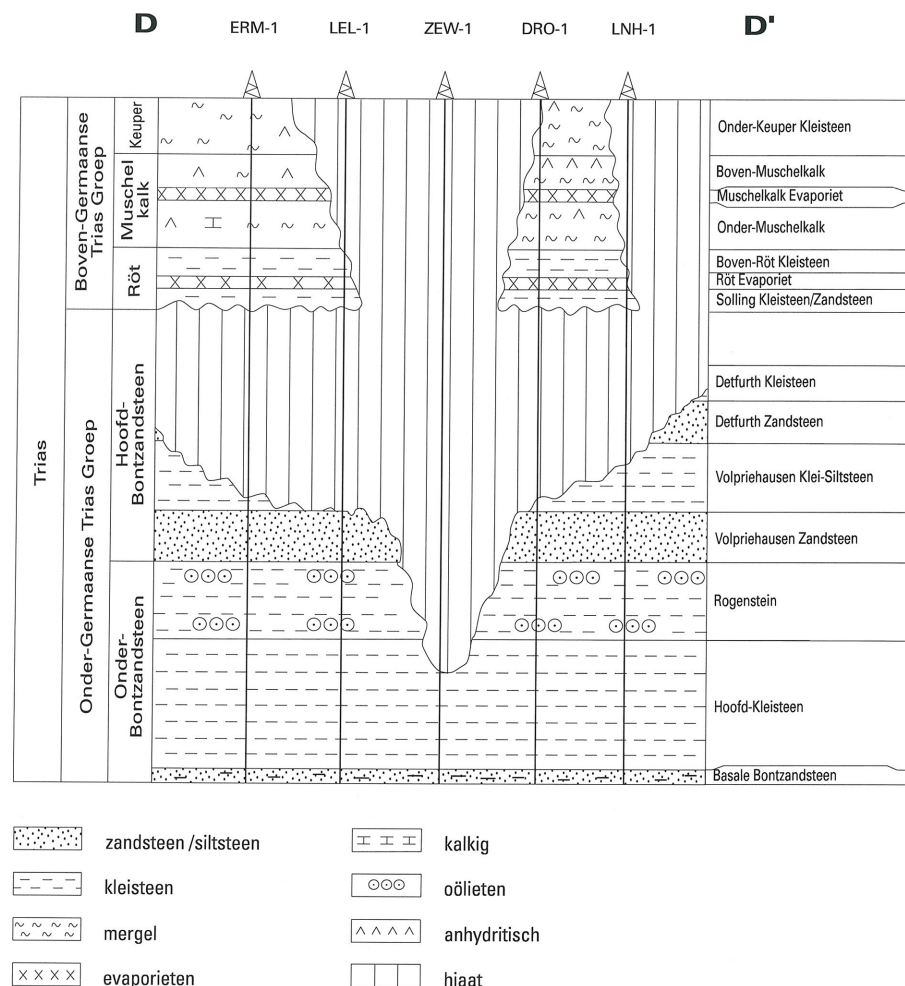
De Röt Formatie is opgebouwd uit de Solling Zandsteen, de Solling Kleisteel, de Röt Evaporiet en de Boven-Röt Kleisteel. De formatie ligt discordant op de Hoofd-Bontzandsteen en heeft in de boring Dronten-1 een dikte van 115 m. De as van maximale afzettingsdikte van de Röt Formatie ligt ten zuiden van het Texel-IJsselmeer Hoog in het Centraal-Nederlands Bekken. De ouderdom van de formatie is Laat-Scythien tot Anisien.

De *Solling Zandsteen* is opgebouwd uit een goed op boorlogs correlleerbare zandsteen, die fijn- tot grofkorrelig is. De dikte bedraagt slechts enkele meters. De *Solling Zandsteen* is in het kaartbladgebied zeer dun ontwikkeld en slechts aanwezig in het zuiden van het kaartbladgebied (Langenholte-1; fig. 5.2).

De *Solling Kleisteen* is een grijsgroene en rode kleiige afzetting, die in het kaartbladgebied een dikte bereikt van 28 m (Dronten-1). Ervan gescheiden middels een discordant contact, de Basis Solling Discordantie (of Hardegens Discordantie; fig. 1.6), bedekt de *Solling Kleisteen* verschillende laagpakketten van de Onder-Germaanse Trias Groep. Afhankelijk van de diepte van insnijding ligt de *Solling Kleisteen* discordant op de Rogenstein of op de Hoofdkleisteen. In het oosten van het kaartbladgebied wordt de *Solling Kleisteen* bedekt door sedimenten van de Rijnland Groep (fig. 5.2).

De *Röt Evaporiet* ligt met een scherp contact op de *Solling Kleisteen* en heeft in het kaartbladgebied een dikte tot 20 m. Het laagpakket is opgebouwd uit kleisteen, anhydriet en steenzout. In de boorlogs van Ermelo-1 en Lelystad-1 zijn twee Röt zoutlagen met een dunne kleilaag ertussen van enkele meters dik onderkend (fig 5.2).

Figuur 5.3 Lithostratigrafisch diagram van de Trias afzettingen aan de zuidrand van het Texel-IJsselmeer Hoog (profiel D-D'). De figuur toont de lithologische opbouw van de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groepen en de Basis Solling Discordantie. De Boven-Germaanse Trias afzettingen in de boringen Lelystad-1, Zeewolde-1 en Langenholte-1 zijn (gedeeltelijk) afwezig als gevolg van Laat-Kimmerische erosie. De lokatie van D-D' is aangegeven in figuur 5.1.



De *Boven-Röt Kleisteen* is voor het grootste gedeelte opgebouwd uit roodbruine, siltige en anhydriet-houdende kleisteen en bevat verder ook wit en lichtgroen gekleurde zandbankjes. Het laagpakket heeft direct ten zuiden van het kaartblad een dikte van 65 m (Ermelo-1; fig. 5.2). Naar het noordwesten neemt de dikte toe, tot 110 m ten westen van het kaartbladgebied.

5.3.1.2 Muschelkalk Formatie

De Muschelkalk Formatie wordt in het centrum van het Permo-Triassische Bekken van Noordwest-Europa opgebouwd uit de Onder-Muschelkalk, de Muschelkalk Evaporiet, de Midden-Muschelkalk Mergel en de Boven-Muschelkalk. De Muschelkalk Formatie is in het kaartbladgebied alleen in het uiterste zuiden aanwezig (fig. 5.2 & 5.3).

De Muschelkalk bereikt in het Centraal-Nederlands Bekken een dikte van 115 m (Oost-Flevoland-1). In de boring Dronten-1 bedraagt de dikte 80 m (fig. 5.2), zodat er sprake lijkt te zijn van verdunning in de richting van het Texel-IJsselmeer Hoog. Naar het zuiden neemt de dikte van de formatie snel toe. In het midden van het Muschelkalk interval is een toename van dolomiet-/kalkbanken waar te nemen (fig. 5.2).

De formatie ligt concordant op de Röt Formatie en wordt, eveneens concordant, bedekt door de Keuper Formatie. De lithologie bestaat voornamelijk uit lichtgrijze en groene kleistenen en dolomitische kalken, die in een marien milieu zijn afgezet. De Muschelkalk Formatie is afgezet gedurende het Anisien en het Ladinien.

De *Onder-Muschelkalk* bestaat in het onderste deel voornamelijk uit grijze mergels en vertoont naar boven toe een toename van kalksteen en dolomiet. Tevens komen enkele kleisteenbanken voor.

De *Muschelkalk Evaporiet* is een 20 m dikke laag die is opgebouwd uit anhydriet en haliet. Dit laagpakket is op de boorlogs te herkennen aan de karakteristieke hoge akoestische snelheid.

De overige Muschelkalk laagpakketten zijn opgebouwd uit mergels, kleirijke dolomieten, carbonaten en anhydritische kleistenen.

5.3.1.3 Keuper Formatie

De Keuper Formatie ligt concordant op de sedimenten van de Muschelkalk Formatie. In het kaartbladgebied bestaat de formatie uit groene, grijze of roodbruine, siltige kleien en anhydrietbanken. De Keuper Formatie is afgezet gedurende het Carnien.

In het uiterste zuiden en oosten van het kaartbladgebied zijn vermoedelijk Keuper afzettingen aanwezig, maar zijn hier niet aangeboord. Het Onder-Keuper Kleisteen traject in de boring Ermelo-1 (fig. 5.2 & 5.3) valt juist buiten de kaartbladgrenzen.

In Noordwest-Europa bestaat de algemene opbouw van de Keuper Formatie uit verschillende kleisteen en zandsteen laagpakketten die ritmisch afgewisseld worden door evaporitische laagpakketten (Warrington, 1974; Beutler & Schöler, 1979; Bertelsen, 1980). In het centrum van het Permo-Triassische Bekken in Noordwest-Europa kan de dikte oplopen tot meer dan 500 m. In het kaartbladgebied is de dikte van de Keuper veel geringer en zijn er waarschijnlijk geen evaporieten afgezet. Vanwege de zeer beperkte hoeveelheid boorgegevens over de Keuper Formatie in het kaartbladgebied is een verdere onderverdeling van de Keuper Formatie niet gemaakt.

5.4 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

Aan het begin van de Trias was het reliëf op het kaartbladgebied geheel genivelleerd door opvulling van de depressies rond het Texel-IJsselmeer Hoog. Deze afvlakking van het reliëf was reeds merkbaar gedurende de afzetting van de Zechstein 4 Formatie.

De regionale, homogene opbouw van de Onder-Bontzandsteen Formatie wijst op een uniforme daling van het Permo-Triassische Bekken. De sedimenten worden geïnterpreteerd als lacustriene afzettingen. De sedimenten zijn afgezet in een zeer uitgestrekt meer dat soms droog viel. Homogenisatie en menging van de roodgekleurde oxides door het sediment vond plaats onder invloed van een wisselende grondwaterspiegel en het aride klimaat (Walker, 1967). De oölieten, die voornamelijk in de Rogenstein en in mindere mate ook in de Hoofdkleisteel voorkomen, zijn gevormd in een lacustrien of ondiep milieu met saliene omstandigheden. De verschillende oölitische banken zijn regionaal goed te correleren. Omdat de correlatie over de Netherlands Swell heen moeilijk is, lijkt het alsof die opwelling al een zekere invloed had gedurende deze vroege periode van de Trias.

De zandige afzettingen van de Hoofd-Bontzandsteen Formatie representeren noordwaarts prograderende distale puinwaaier- en riviersystemen. De kleiige afzettingen vertegenwoordigen lacustriene omstandigheden, die in het distale bereik van de riviersystemen overheersten (Brennand, 1975). Opheffing in het achterland, of stijging van de waterspiegel, bijvoorbeeld als gevolg van een plaatselijke bekkendaling, hadden hier invloed op. In het kaartbladgebied zijn de afzettingen van de Hoofd-Bontzandsteen Formatie tektonisch beïnvloed door de Netherlands Swell en de verschillende dalingsgebieden, die er ten westen en ten oosten van lagen (fig. 11.1). Op het Texel-IJsselmeer Hoog zijn de sedimenten van de Onder-Germaanse Trias afwezig, maar ze zijn daar waarschijnlijk wel afgezet. Na afzetting van de Hoofd-Bontzandsteen zette de opheffing van de Netherlands Swell in hetgeen tot uitdrukking kwam in de Hardegse tektonische fase (Wolburg, 1962; Schröder, 1982). De subcropkaart onder de Basis Solling discordantie vertoont een NO-ZW oriëntatie van de Netherlands Swell (NAM & RGD, 1980; fig. 11.1). De Hardegse tektonische fase heeft het grootste deel Onder-Germaanse Trias verwijderd.

Na de Hardegse tektonische fase werd er kleisteel in een lacustrien en steenzout in een marien milieu afgezet. Opvallend is de verdikking van de Röt Evaporiet in de richting van het Centraal-Nederlands Bekken. In een beperkt mariene, playa-achtige omgeving zijn twee Röt evaporietcycli afgezet, die aangeven dat het reliëf rond het Texel-IJsselmeer Hoog niet erg groot geweest kan zijn. De Boven-Röt Kleisteel vertegenwoordigt een transgressieve fase na een periode van relatieve droogte. Na het lacustriene en sabkha-achtige milieu van het Scythien overheersten mariene omstandigheden gedurende het Anisien en Ladinien. De transgressie had een omslag van klastische naar carbonatische (dolomietrijke) sedimenten tot gevolg.

Dat de dikte van de Röt, Muschelkalk en Keuper Formatie sterk beïnvloed is door bekkens en hogen wordt duidelijk door de verschillende trends in dikte-ontwikkeling. De totale dikte van de Midden en Boven-Trias sedimenten die op het Texel-IJsselmeer Hoog zijn afgezet, zal ongeveer 100 tot 300 m bedragen (RGD, 1989). Dit in tegenstelling tot een dikte van 600 m in de diepere delen van het Permo-Triassische Bekken.

5.5 Reservoir-geologische aspecten

De gasvelden van Wanneperveen en De Wijk (fig. 1.2) bevatten een unieke serie stratigrafische eenheden waaruit gas geproduceerd wordt. Gasvoerend in deze velden zijn de Tubbergen

Zandsteen, de Zechstein 2 Carbonaat, de Rogenstein, de Volpriehausen Zandsteen, de Vlieland Zandsteen en de Basale Dongen Tuffiet. De gasvelden nemen een positie in tussen het Texel-IJsselmeer Hoog en het Nedersaksisch Bekken en werden in 1949 door de NAM ontdekt.

In het grootste gedeelte van de gasvelden wordt de Trias discordant bedekt door kleistenen van het Onder-Krijt, die voor de verticale afsluiting van het reservoir zorgen. Van de totale dikte van 165 m Rogenstein, bestaat 40 m uit reservoirgesteente (Gdula, 1983). Het reservoirgesteente is voor het belangrijkste gedeelte opgebouwd uit calcitische oöieden. De oöieden bestaan ook voor een gedeelte uit kwartzand. Het overige gedeelte van de Rogenstein bestaat uit zandige en siltige kleistenen. De porositeit van de schone, calcitische oöietlagen kan oplopen tot 30%; de permeabiliteit tot 1 Darcy. Het in het reservoir aanwezige kwartzand heeft een porositeit van ongeveer 25% en een permeabiliteit die varieert van 10-100 mD. Porositeit in de Rogenstein is voornamelijk ontstaan gedurende de Kimmerische erosieve periode. Boven de Kimmerische paleo-grondwaterspiegel heeft totale oplossing van het cement plaatsgevonden. Onder deze paleo-grondwaterspiegel is de totale intergranulaire porositeit verloren gegaan door anhydrietcementatie (Gdula, 1983).

6 Altena Groep

6.1 Stratigrafie

De Altena Groep is in het kaartbladgebied opgebouwd uit donkere kleistenen, behorende tot de Sleen Schalie Formatie, de Aalburg Schalie Formatie en het onderste deel van de Werkendam Schalie Formatie. In het kaartbladgebied zijn de eerste twee formaties aangeboord en is de Werkendam Formatie seismisch onderkend. De Altena Groep is afgezet gedurende het Rhaetien en de Lias.

In het kaartbladgebied zijn de sedimenten van de Altena Groep slechts bewaard gebleven in grote synclinale structuren, zoals het Centraal-Nederlands Bekken (Kaart 7). De grootste diktes zijn aangetroffen in een diepe synclinale structuur, direct ten zuidwesten van het kaartbladgebied. Deze vormt de as van het Centraal-Nederlands Bekken: de Gouwzee Trog.

De afzettingen van de Altena Groep liggen op de sedimenten van de Boven-Germaanse Trias Groep. De afzettingen worden, ervan gescheiden door de Laat-Kimmerische discordanties, bedekt door sedimenten van de Nedersaksen Groep en door de Rijnland Groep. De Altena Groep wordt eveneens discordant bedekt door de Noordzee Supergroep.

Boringen in het Centraal-Nederlands Bekken zijn vaak uitgevoerd op hoge structuren, waar relatief weinig van de Jura sedimenten bewaard is gebleven. De seismisch gekarteerde dikte van de Altena Groep bedraagt soms meer dan 400 m, terwijl in de boringen op de hoge structuren slechts een maximale dikte wordt aangetroffen van 80 m. De diktevariatie van de Altena Groep wordt in sterke mate bepaald door erosie (Kaart 8).

6.1.1 Sleen Schalie Formatie

De Sleen Schalie Formatie bestaat uit een pakket lichtgrijze kleisteen, met dunne inschakelingen van dolomietlagen en zandige kleisteenlagen. Op grond van het ingeschakelde zandige pakket is een lithologische driedeling te maken. Afzetting vond plaats in een marien bekken, met overheersend reducerende omstandigheden.

Op grond van biostratigrafisch onderzoek van de boring Dronten-1 is voor de Sleen Schalie een Rhaetien ouderdom vastgesteld (RGD, 1990). In deze boring werd een 20 m dik pakket aangeboord.

De Sleen Schalie Formatie wordt concordant bedekt door de Aalburg Schalie Formatie en discordant door de 'Boven-Jura' Groep, de Rijnland Groep of de Noordzee Supergroep.

6.1.2 Aalburg Schalie Formatie

De Aalburg Schalie Formatie is opgebouwd uit donkergrijze en donkerbruine, lokaal siltige kleistenen. In de kleistenen zijn dunne dolomitische kalksteenbanken ingeschakeld. De formatie bevat pyriet, sideriet, koolfragmenten en belemnieten. De Aalburg Formatie is in de onderzochte boringen niet compleet aangetroffen, maar uit seismische gegevens kan worden afgeleid dat de dikte 350 tot 400 m bedraagt.

De Aalburg Schalie Formatie ligt concordant op de Sleen Schalie Formatie. In het kaartbladgebied wordt de formatie concordant bedekt door de Werkendam Schalie Formatie, of discordant door Boven-Jura afzettingen, de Rijnland Groep of de Noordzee Supergroep.

De sedimenten van de Aalburg Formatie zijn afgezet gedurende het Hettangien tot en met het Pliensbachien. Deze periode kan biostratigrafisch, met behulp van foraminiferen en ostracoden, onderverdeeld worden in verschillende etages van de Lias.

6.1.3 Werkendam Formatie

De sedimenten van de Werkendam Formatie zijn in het kaartbladgebied niet aangeboord. Er zijn echter wel seismische aanwijzingen dat het onderste gedeelte van de formatie, het Posidonia Schalie Laagpakket, aanwezig is.

De Werkendam Formatie bestaat uit marien afgezette kleistenen. Het Posidonia Schalie Laagpakket, aan de basis van de formatie, bestaat uit zwartbruine, bitumineuze kleisteen, afgezet in een euxinisch milieu. Het hoge gehalte aan mariene organische bestanddelen maakt dat vooral dit laagpakket in andere regio's een belangrijk oliemoedergesteente vormt. De Posidonia Schalie is afgezet in het Toarcien.

De sedimenten van de Werkendam Formatie worden discordant bedekt door Boven-Jura afzettingen en de sedimenten van de Rijnland Groep of van de Noordzee Supergroep.

6.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

De kleistenen van de Altena Groep werden afgezet onder mariene omstandigheden. Het fijnkorrelige karakter van de afzettingen wijst op de afwezigheid van land in de directe omgeving. Hoewel er regionaal gezien aan het einde van de Trias sprake was verhevigde tektonische activiteit (Vroeg-Kimmerisch fase) zijn de stratigrafische aanwijzingen hiervoor in het kaartbladgebied niet aanwezig. Er is noch sprake van een grootschalige regressieve trend, noch van een discordante bedekking.

De kleistenen van de Sleen en van de Aalburg Formatie zijn afgezet in een diep marien milieu. Als gevolg van een transgressie was er een verbinding tussen de Tethys en de Arctische Oceaan ontstaan, zoals uit de menging van de verschillende fauna's blijkt. De afzetting van de Werkendam Schalie Formatie kenmerkt zich door een stagnerende watercirculatie in het bekken, waarbij onder reducerende omstandigheden het organisch rijke materiaal van de Posidonia Schalie werd afgezet. De vorming vond plaats, tijdens een periode van hoge zeespiegelstand, in de diepste delen van de bekkens waar de watercirculatie als gevolg van een dichtheidsinversie stagneerde.

De reconstructie van de verdere afzettingsgeschiedenis van de Altena Groep wordt ernstig bemoeilijkt door het ontbreken van afzettingen in grote gebieden ten gevolge van latere tektonische opheffing en daarmee gepaard gaande erosie. Aangenomen wordt echter, mede gebaseerd op de ontwikkeling van deze sedimenten in het West-Nederlands Bekken, dat de sedimentatie zich hoofdzakelijk beperkte tot de diepe delen van het Centraal-Nederlands Bekken. Naar de randen toe werd hoe langer hoe minder afgezet en trad erosie op (Haanstra, 1963a, 1963b; Van Wijhe, 1987a).

Tijdens de Vroeg-Jura begon in Noordwest-Europa een periode van extensietektoniek en bekkendaling, waaraan een groot deel van de regio onderhevig was. Daarbij werden, als gevolg van differentiële bekkendaling in de verschillende subbekkens van de Jura-zee, pakketten van verschillende diktes afgezet. Waarschijnlijk daalde het Texel-IJsselmeer Hoog relatief minder dan het Centraal-Nederlands Bekken.

7 'Boven-Jura' Groep

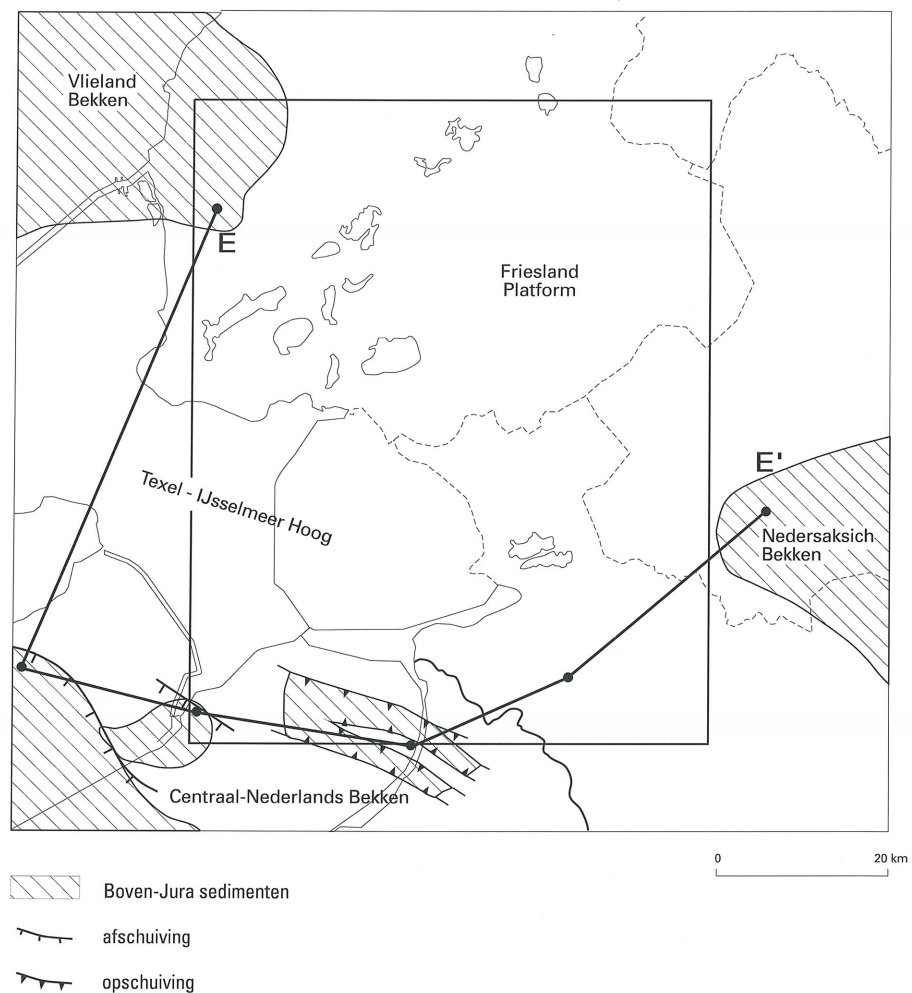
7.1 Algemeen

De sedimenten in het kaartbladgebied met een Laat-Jura tot vroegste Krijt ouderdom (Kimmeridgien - Ryazanien) worden in deze toelichting besproken als de Boven-Jura afzettingen.

Boven-Jura afzettingen worden in het kaartbladgebied aangetroffen in het Centraal-Nederlands Bekken, in het Vlieland Bekken en, direct ten oosten van het kaartbladgebied, in het Nedersaksisch Bekken (Kaart 9 & fig. 7.1). De Boven-Jura afzettingen in het Nedersaksisch Bekken worden tot de Nedersaksen Groep gerekend. Het Nedersaksisch Bekken strekte zich uit over een gedeelte van Oost-Nederland en het midden van het voormalige West-Duitsland (Bischoff & Wolburg, 1963; 't Hart, 1969). Het kaartbladgebied valt net buiten de meest westelijke begrenzing van het Nedersaksisch Bekken (fig. 7.1).

De Boven-Jura afzettingen ten westen van het kaartbladgebied en in het Vlieland Bekken worden tot de Delfland Formatie van de Central Graben Groep gerekend (Herngreen & Wong, 1989). De Boven-Jura afzettingen die in het zuiden van het kaartbladgebied in het Centraal-Nederlands Bekken zijn aangeboord, vertonen zowel gelijkenis met de afzettingen van de Central Graben Groep als met die van de Nedersaksen Groep en worden daarom beide in dit hoofdstuk besproken.

Figuur 7.1 Ligging van Boven-Jura bekkens in het kaartbladgebied en de lokatie van profiellijn E-E' van figuur 7.3.



In het centrale deel van het kaartblad, op het Texel-IJsselmeer Hoog en het Friesland Platform, zijn geen Boven-Jura sedimenten afgezet.

In een seismische sectie over de zuidelijke randbreuk van het Texel-IJsselmeer Hoog zijn onlap structuren waargenomen (fig. 11.2). Het interval met deze structuren is niet aangeboord, maar de stratigrafische positie en het seismische karakter ervan wijzen op Boven-Jura afzettingen.

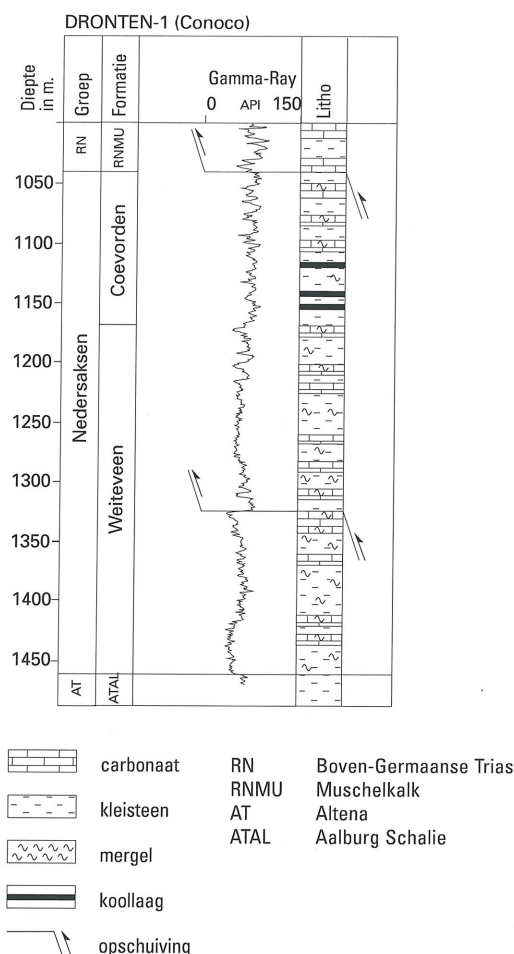
Litho- en chronostratigrafische aspecten van de Boven-Jura sedimenten worden besproken aan de hand van een correlatieprofiel van boringen op en direct rond het kaartbladgebied (fig. 7.2 & 7.3).

7.2 Central Graben Groep

7.2.1 Stratigrafie

Afzettingen van de Central Graben Groep zijn opgebouwd uit klastische sedimenten en koollagen. In het kaartbladgebied bestaat de Central Graben Groep slechts uit één formatie, de Delfland Formatie. In de boring Dronten-1 lijkt een gemengde lithologie van zowel de Central Graben als van de Nedersaksen Groep aanwezig te zijn.

Figuur 7.2 Boven-Jura traject van de boring Dronten-1. De koollagen zijn geïnterpreteerd met behulp van de sonic log, die in deze figuur echter niet is weergegeven vanwege de slechte kwaliteit. De boring is door een serie breuken gegaan. De bovenste breuk is een opschuiving die Muschelkalk (Trias) boven Coevorden (Boven-Jura) heeft gebracht. De onderste is eveneens een opschuiving en heeft de dikte van de Weiteveen Formatie waarschijnlijk verdubbeld.



7.2.1.1 Delfland Formatie

De Delfland Formatie is hoofdzakelijk opgebouwd uit grijze, groene of bruine siltstenen, met licht- tot donkerbruine ingeschakelde zandstenen. Plantenhaksel en koollagen worden meestal aangetroffen in het bovenste deel van de formatie. De Delfland sedimenten zijn veelal afgezet in een continentaal milieu.

Deze Delfland Formatie heeft in het Vlieland Bekken een Laat-Kimmeridgien tot Ryazanien ouderdom (Herngreen et al., 1991). De Delfland sedimenten, die direct ten westen van het kaartbladgebied zijn aangeboord (IJsselmeer-1), zijn van een Portlandien ouderdom (RGD, 1974). In het Centraal-Nederlands Bekken is voor de Delfland Formatie een ouderdom aangetoond van Laat-Portlandien tot Ryazanien (RGD, 1990). Dus de basis van de formatie in het Vlieland Bekken is ouder dan de basis ervan in het Centraal-Nederlands Bekken (fig. 7.3).

In het kaartbladgebied ligt de Delfland Formatie discordant op de Altena Groep, gescheiden door de Laat-Kimmerische I discordantie. De Boven-Jura sedimenten worden concordant bedekt door afzettingen van de Rijnland Groep (Kaart 17).

In de boring Bolsward-1 bedraagt de dikte van de Delfland Formatie ruim 100 m (Herngreen et al., 1991), maar in het centrum van het Vlieland Bekken, ten noordwesten van het kaartbladgebied, zijn diktes tot 500 m afgezet.

7.3 Nedersaksen Groep

7.3.1 Stratigrafie

De Nedersaksen Groep bestaat uit mergels, kalkstenen, kleistenen en evaporieten en wordt onderverdeeld in de Weiteveen en de Coevorden Formatie (NAM & RGD, 1980). In het kaartbladgebied zijn geen evaporitische laagpakketten aangetroffen, maar deze komen in de richting van het Nedersaksisch Bekken in toenemende mate voor. De Nedersaksen Groep in het kaartbladgebied is afgezet gedurende het Portlandien en het vroegste Ryazanien (RGD, 1990; fig. 7.3).

Deze Boven-Jura sedimenten komen in het kaartbladgebied voor ten zuiden van het Texel-IJsselmeer Hoog (Kaart 9) en direct ten oosten van het kaartbladgebied. Deze paragraaf beschrijft de afzettingen van de Nedersaksen Groep zoals deze in het zuiden van het kaartbladgebied voorkomen. De afzettingen liggen hier discordant op de Altena Groep. De afzettingen worden in het kaartbladgebied discordant bedekt door de Noordzee Supergroep. De Boven-Jura afzettingen bereiken in het kaartbladgebied een totale dikte van ruim 400 m (Dronten-1). Naar het westen neemt de dikte snel af. Naar het oosten neemt de dikte toe tot meer dan 600 m in het buiten het kaartbladgebied gelegen Nedersaksisch Bekken.

7.3.1.1 Weiteveen Formatie

De boring Dronten-1 heeft Boven-Jura sedimenten aangeboord die meer lithologische overeenstemming vertonen met de mariene en lacustriene sedimenten van het Nedersaksisch Bekken dan met de voornamelijk continentaal afgezette, klastische sedimenten van de Delfland

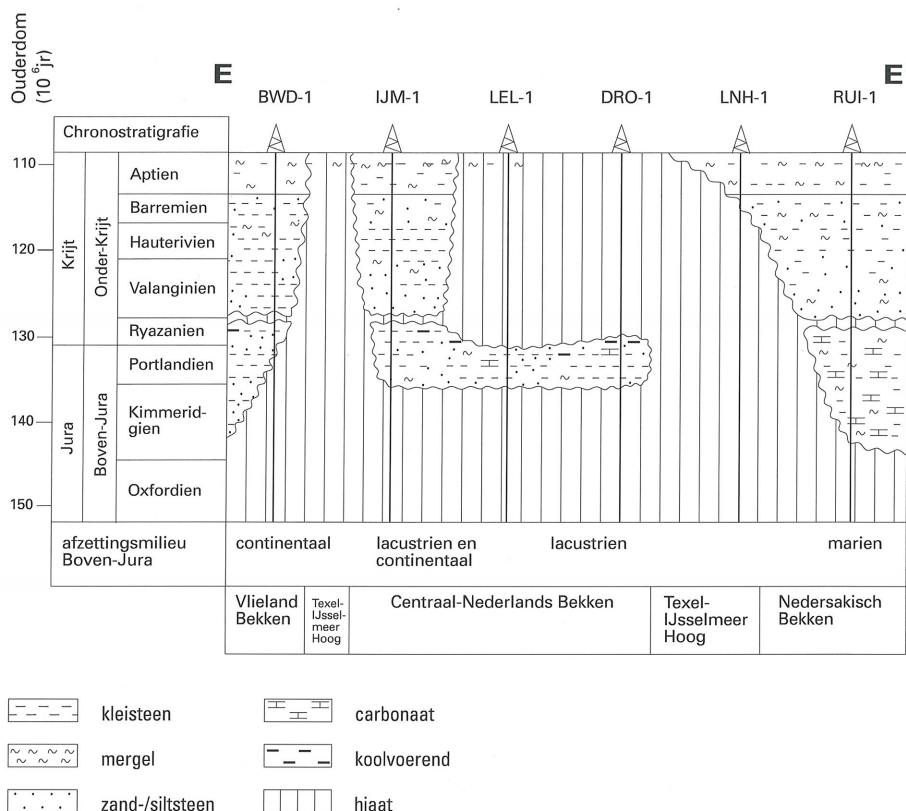
Formatie in het Vlieland of het Centraal-Nederlands Bekken (fig. 7.3). Biostratigrafisch onderzoek heeft uitgewezen dat in de boring Dronten-1 het traject van 1175 m tot 1464 m een Portlandien ouderdom heeft (RGD, 1990). Een onderverdeling van de Weiteveen Formatie is niet doorgevoerd vanwege het ontbreken van evaporieten (fig. 7.2).

De Weiteveen Formatie is opgebouwd uit kalkige kleistenen en kleihoudende kalkstenen en dolomiet. De kleistenen zijn donker/lichtgrijs tot groen. De dolomietlagen zijn vaak bruin en grofkorrelig. Massieve kalksteenbanken bereiken een maximale dikte van 5 m. Dunne mergel- en kalksteenbanken wisselen elkaar snel af. De Weiteveen is afgezet gedurende het Portlandien.

Naar het westen en het zuiden gaat de Weiteveen Formatie waarschijnlijk over in de continentale en fluviatiele sedimenten van de Delfland Formatie. In het kaartbladgebied bevatten de sedimenten van de Weiteveen Formatie mariene of lacustriene elementen, zoals ostracoden. In deze Weiteveen sectie zijn eveneens enige niveau's met organisch materiaal aangetroffen. De fossielinhoud wijst door de aanwezigheid van dunwandige ostracoden op een laag energetisch en terrestrisch tot brak milieu.

De dikte van de Weiteveen Formatie bedraagt in de boring Dronten-1 285 m en 150 m in de boring Ruinen-1. Het is mogelijk dat in de boring Dronten-1 de dikte is verdubbeld door een opschuiving op ca. 1325 m (RGD, 1990), veroorzaakt door Subhercynische of Laramische compressieve inversietektoniek.

Figuur 7.3 Lithostratigrafisch diagram van de Boven-Jura en de Onder-Krijt afzettingen en de ligging van het kaartbladgebied hierin. Het profiel E-E' toont de chronostratigrafische relatie tussen de sedimenten van de Delfland Groep en de Nedersaksen Groep. De ligging van het profiel is weergegeven in figuur 7.1.



De Weiteveen Formatie ligt discordant op de Altena Groep en wordt concordant bedekt door de Coevorden Formatie.

7.3.1.2 Coevorden Formatie

De Coevorden Formatie bestaat uit mergelige kleistenen, kalksteenbanken en koollaagjes en bevat daarnaast ook een aantal elementen die karakteristiek zijn voor de Delfland Formatie (zie par. 7.2.1.1). De formatie werd afgezet in zoet tot brak water (RGD, 1990). Binnen het kaartbladgebied is de Coevorden Formatie slechts in de boring Dronten-1 aangeboord. De formatie beslaat daar een interval van 140 m waarvan de ouderdom vermoedelijk Vroeg-Ryazanien is.

7.4 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

Sedimentatie in het Nedersaksisch Bekken begon, net als in het Vlieland Bekken, tijdens het Kimmeridgien. Het Nedersaksisch Bekken strekte zich uit van het oosten van Nederland tot ver in Duitsland. In dit bekken overheersten lacustriene, evaporitische en ondiep mariene omstandigheden. In het zuiden van het kaartbladgebied domineerden gedurende het Portlandien lacustriene (beperkt marien) tot continentale afzettingsomstandigheden. Hier was sprake van een soort binnenmeer of baai, die wellicht in verbinding stond met het Nedersaksisch Bekken. In deze baai werden onder laag energetische omstandigheden kleien en mergels afgezet. Tijdens het Ryazanien vormde zich in dit gebied veen.

Het Centraal-Nederlands Bekken en het Vlieland Bekken werden van elkaar gescheiden door het Texel-IJsselmeer Hoog. In het Centraal-Nederlands Bekken begon de sedimentatie van de Delfland Formatie in het Portlandien. Dit is later dan in het Vlieland Bekken, waar sedimentatie reeds begonnen was gedurende het Kimmeridgien. Onder invloed van een Portlandien transgressie werden in een brakwater milieu lagunaire kleien afgezet. Op deze kleien liggen sedimenten met een regressief karakter, die waarschijnlijk onder continentale omstandigheden tijdens het Ryazanien zijn afgezet. Dit vermoeden berust op de naar de top toe vergroevende korrelfractie en de ingeschakelde koollagen (Rijks Geologische Dienst, 1991a). Het brongebied voor het Boven-Jura sediment lag op de omringende hoge gebieden, zoals het Texel-IJsselmeer Hoog (RGD, 1974) en het Friesland Platform.

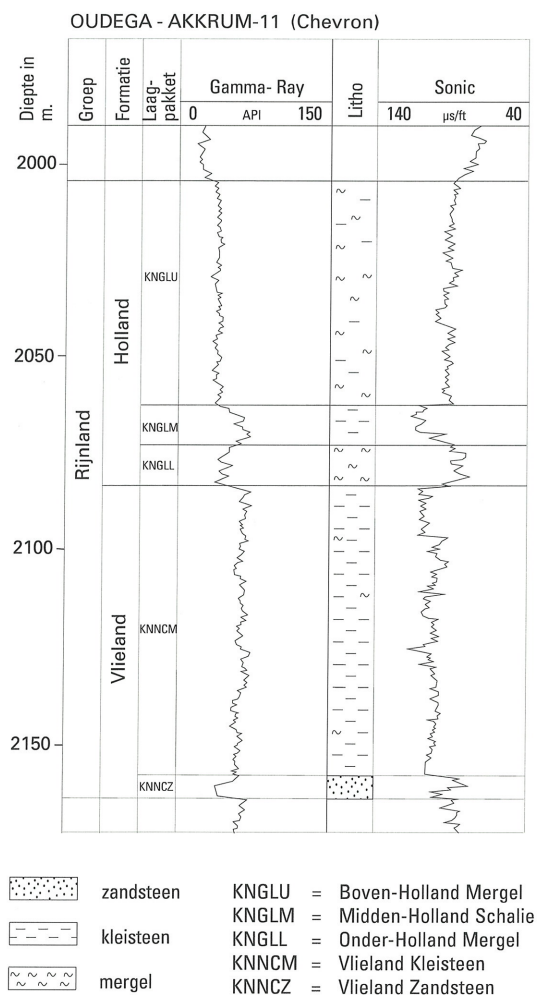
8 Rijnland Groep

8.1 Stratigrafie

De Rijnland Groep, onderverdeeld in de Vlieland Formatie en de Holland Formatie (fig. 8.1), bestaat uit grijsbruine tot groene basale zandstenen en uit grijs tot bruin gekleurde silt- en kleistenen en mergels. De Rijnland Groep is afgezet in een aanvankelijk ondiep, maar geleidelijk steeds meer open marien milieu. De ouderdom van de sedimenten van de Rijnland Groep is Vroeg-Krijt.

De Rijnland Groep bedekt discordant de Altena, de Boven- en Onder-Germaanse Trias, de Zechstein, de Boven-Rotliegend en de Limburg Groep (Kaart 16). In het Vlieland Bekken en het Nedersaksisch Bekken bedekt de Rijnland Groep de Boven-Jura afzettingen. De Rijnland Groep wordt in het kaartbladgebied concordant bedekt door de Krijtkalk Groep. In het kaartbladgebied komen de sedimenten van de Rijnland Groep voor op het Friesland Platform en het Texel-IJsselmeer Hoog (Kaart 11). In het uiterste zuiden van het kaartbladgebied ontbreken de sedimenten van de Rijnland Groep.

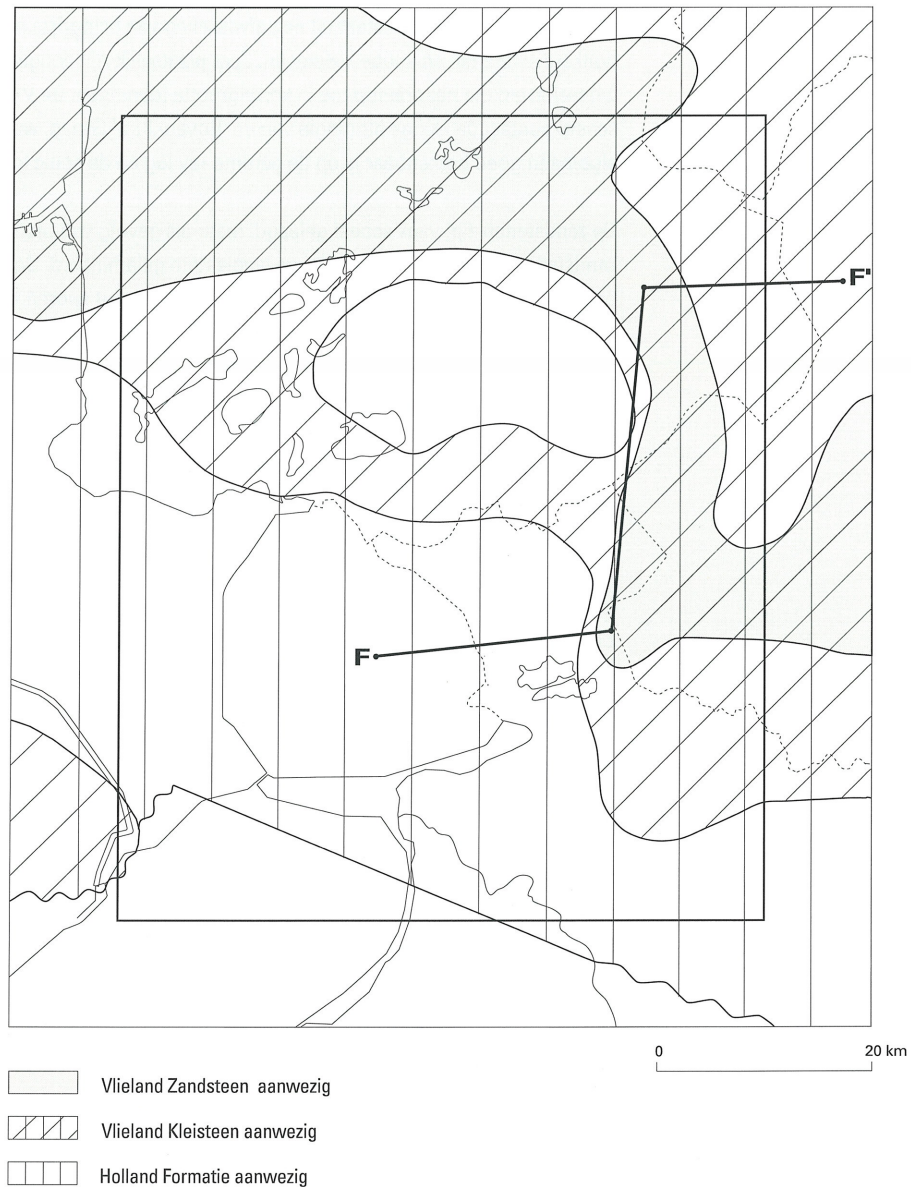
Figuur 8.1 Onder-Krijt traject in de boring Oudega-Akkrum-11.



De dikte van de Rijnland Groep varieert in het kaartbladgebied van 50 m in het centrum tot 450 m in het noordwesten (Kaart 12). Depocentra van de zandige basale Rijnland afzettingen, de Vlieland Zandsteen, bevinden zich in het noorden en het oosten van het kaartbladgebied (fig. 8.2). De dikte van de groep neemt buiten het kaartbladgebied naar het centrum van het Vlieland Bekken en van het Nedersaksisch Bekken toe tot meer dan 750 m.

De ontwikkeling van het sedimentpakket van de Rijnland Groep wordt geïllustreerd aan de hand van de boring Oudega-Akkrum-11 (fig. 8.1), een verbreidingskaart (fig. 8.2) en een correlatieprofiel (fig. 8.4).

Figuur 8.2 Verbreidingskaart Onder-Krijt afzettingen op kaartblad V en profiellijn F-F' (gebaseerd op boringen en seismiek). Onderscheid is gemaakt tussen de Vlieland Zandsteen en de Vlieland Schalie. Opvallend is de 'corridor' (par. 8.1.1) van Vlieland Zandsteen die aanwezig is op het noordoostelijk deel van het Friesland Platform. Gedurende het Vroeg-Krijt liep deze 'corridor' tussen het Texel-IJsselmeer Hoog en het Groningen Hoog.



8.1.1 Vlieland Formatie

De Vlieland Formatie (NAM & RGD, 1980) bestaat in het kaartbladgebied uit het basale Vlieland Zandsteen Laagpakket en het hierop liggende Vlieland Schalie Laagpakket. De Vlieland Formatie is afgezet in een ondiep marien tot open marien milieu onder transgressieve omstandigheden. De ouderdom van de formatie is Laat-Ryazanien tot en met Barremien.

In het Vlieland Bekken en het Nedersaksisch Bekken ligt de formatie discordant (met een klein tijdshiaat) op de onderliggende sedimenten van resp. de Central Graben Groep en de Nedersaksen Groep. De formatie wordt, gescheiden door een hiaat, bedekt door afzettingen van de Holland Formatie. De Vlieland Formatie komt niet voor in het zuiden van het kaartbladgebied en is hier waarschijnlijk ook niet afgezet. De dikte varieert van 8 m in het zuidoosten tot 410 m in het noordwesten.

De *Vlieland Zandsteen* bestaat uit een afwisseling van lichtgrijze en groene middelfijne zandstenen, donkere siltstenen en siltige kleistenen. Zeer plaatselijk zijn conglomeratistische zandsteenbanken ingeschakeld die naar de top toe in korrelgrootte toenemen. De Vlieland Zandsteen bedekt met een scherp contact de kleiige lithologie van de 'Boven-Jura' Groep, waardoor het contact over het algemeen goed herkenbaar is op de gamma-ray log en de sonic log.

De zandstenen zijn vaak scheef gelaagd, maar als gevolg van bioturbatie komen ook structuurloze zandstenen voor. De siltige en kleiige laagjes zijn gelamineerd. De zandsteen is voornamelijk opgebouwd uit redelijk afgeronde kwartskorrels en bevat sporen van mica, pyriet en glauconiet. In de boring Oudega-Akkrum-2 zijn in de zandige trajecten koolfragmenten en Pelecypoden aangetroffen. Een dunne doorsnede van de Vlieland Zandsteen uit deze boring toont naast kwartskorrels (tot 0,08 mm) eveneens detritische glimmers en met calcietcement opgevulde poriën (appendix I: foto 3). Scheve gelaagdheid en bioturbatie wijzen op een zeer kustnabij, ondiep marien afzettingsmilieu, zoals bij oeverfront en barrière systemen. In de omgeving van de boring Wanneperveen-1 zijn grove en slecht gesorteerde zanden afgezet door gecombineerde puinwaaier en fluviatiele systemen (Dorsman, 1954), die in zee uitmondten.

In het kaartbladgebied zijn drie subbekkens te definiëren, waarin relatief dikke zandsteenpakketten zijn afgezet: het Zuidelijk Vlieland Bekken (Herngreen et al, 1991), het Leeuwarden Subbekken en het Wanneperveen Subbekken (fig. 8.3). Binnen het kaartbladgebied is het Vlieland Zandsteen Laagpakket het dikst in het Zuidelijk Vlieland Bekken en onmiddellijk west van het kaartbladgebied wordt zelfs een dikte bereikt van meer dan 100 m (fig. 8.3).

Binnen het kaartbladgebied komt de Vlieland Zandsteen voor in het Vlieland Bekken, het Nedersaksisch Bekken, en in de 'corridor' die de twee bekkens, via het Leeuwarden en Wanneperveen Subbekken, met elkaar verbindt (fig. 8.3). In het Vlieland Bekken is de ouderdom van de Vlieland Zandsteen Formatie Laat-Ryazanien tot en met Vroeg-Valanginien (Herngreen et al., 1991; RGD, 1991a). De biostratigrafische dateringen van de Vlieland Zandsteen geven in de 'corridor' een jongere leeftijd aan, namelijk Hauterivien (RGD, 1991c, 1991d). In de boring Nijensleek-1 is de Vlieland Zandsteen gedateerd met een nog jongere ouderdom, nl. Barremien (RGD, 1992d). De basale zanden van de Vlieland Formatie zijn in het kaartbladgebied dus diachroon afgezet (fig. 8.3).

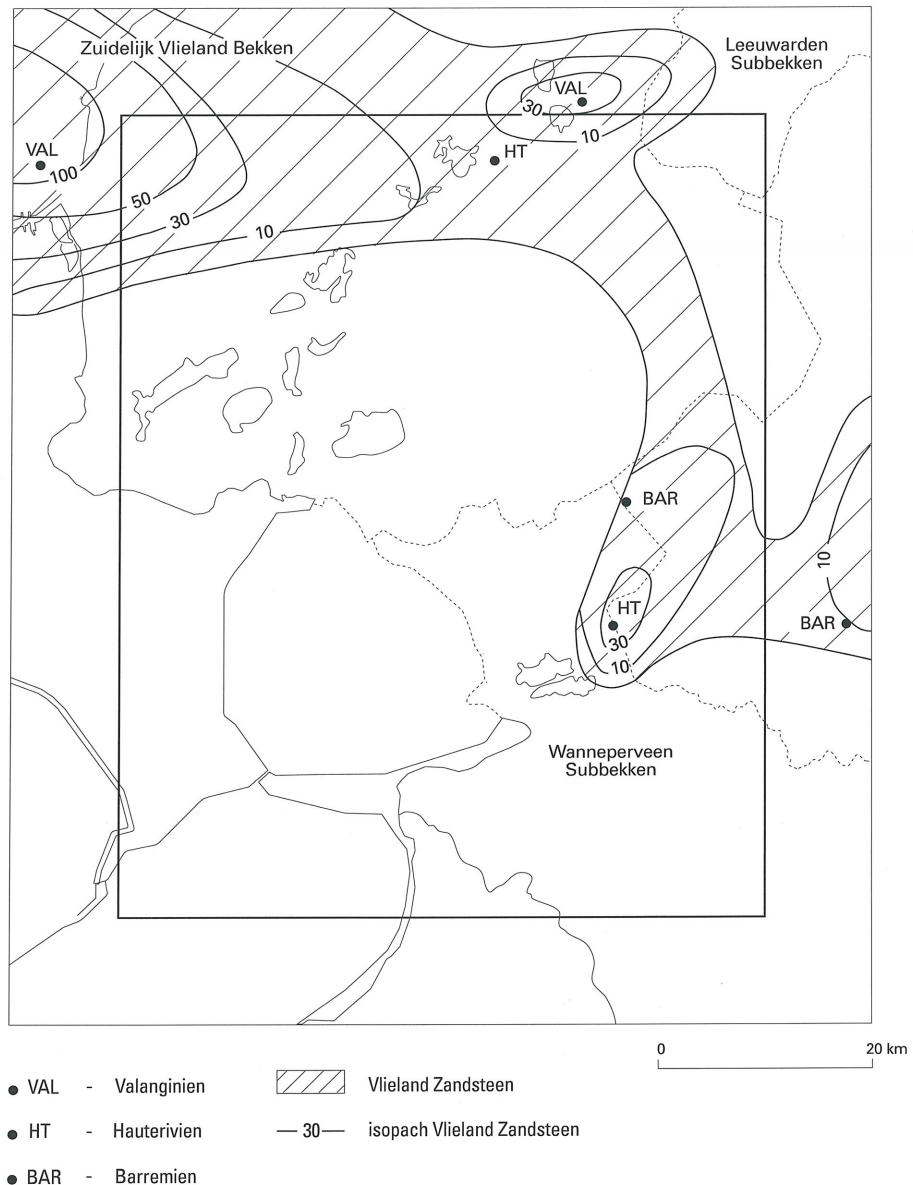
In het kaartbladgebied is de Vlieland Zandsteen in de omgeving van Leeuwarden/Akkrum en van Wanneperveen (fig. 1.2) gasvoerend. Deze poreuze en permeabele zandsteen bereikt lokaal relatief

grote diktes (tot 25 m; fig. 8.4), wat de eenheid tot een geschikt exploratiedoel maakt. De grootste diktes zijn waarschijnlijk afgezet in paleodepressies.

De *Vlieland Schalie* bestaat uit donkerbruine en donkergrijze, siltige kleistenen. Het laagpakket varieert in dikte van 16 m in de 'corridor' (fig. 8.4) tot meer dan 320 m in het Vlieland Bekken. Gedurende het Valanginien is de kleisteen afgezet in een ondiep marien bekken dat dieper werd tijdens het Hauterivien en het Barremien.

Het Vlieland Kleisteen Laagpakket wordt discordant bedekt door kleistenen van de Holland Formatie. De dikke kleistenen van de Vlieland Schalie blijken een goede afsluitende laag te vormen voor de gasvoerende reservoirzanden van de Vlieland Zandsteen in het Leeuwarden/Akkrum en het Wanneperveen gasveld.

Figuur 8.3 Sterk vereenvoudigde isopachenkaart van de Vlieland Zandsteen en ouderdom van de basis. In het Vlieland Bekken zijn gedurende het Valanginien zanden afgezet, terwijl dit in de 'corridor' tussen de bekkens pas in het Hauterivien en het Barremien gebeurde.

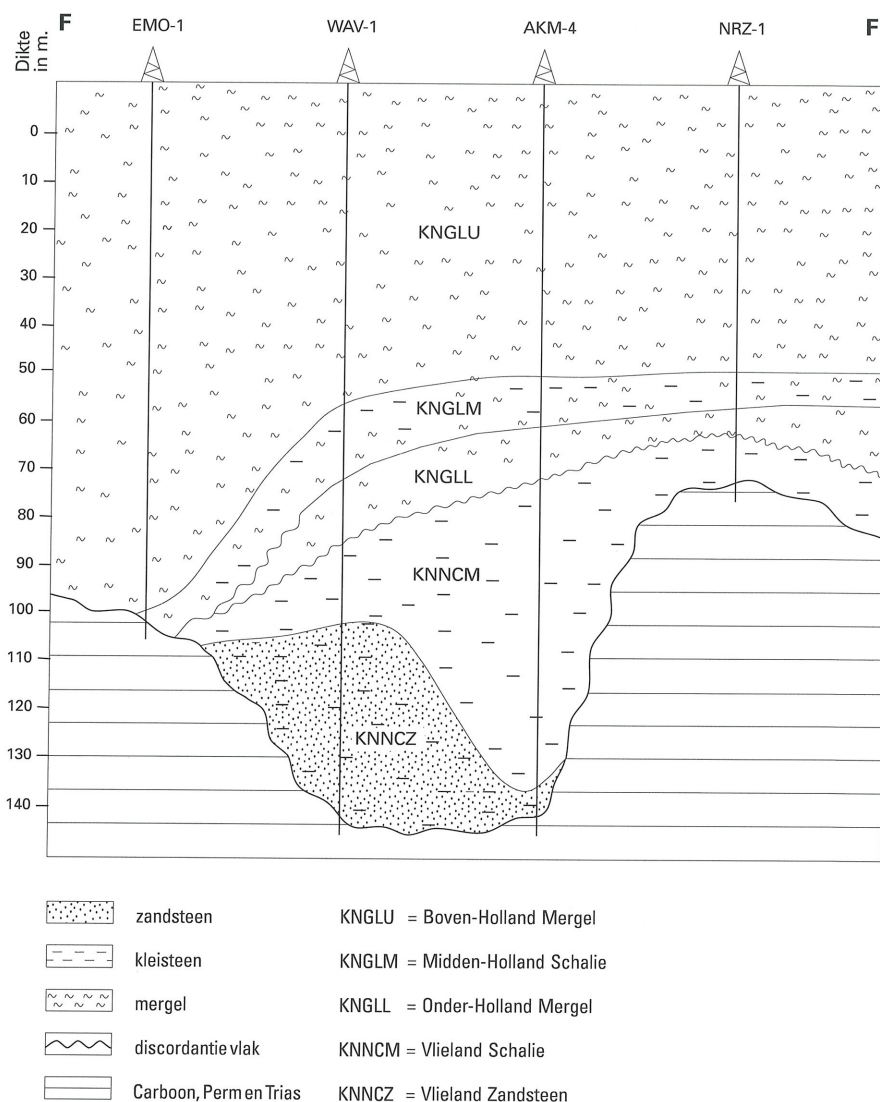


8.1.2 Holland Formatie

De Holland Formatie bestaat uit een opeenvolging van licht- tot donkergrijze, soms paars gekleurde, mergelige kleisteen. De formatie is de bovenste eenheid van de Rijnland Groep en wordt met behulp van boorgatmetingen onderverdeeld in drie laagpakketten. De Onder-Holland Mergel, de Midden-Holland Schalie en de Boven-Holland Mergel zijn herkenbaar in een groot deel van Nederland. De formatie is afgezet in een ondiep tot diep marien milieu gedurende het Laat-Aptien en het Albien.

In het grootste gedeelte van het kaartbladgebied ligt de Holland Formatie discordant op de kleistenen van de Vlieland Formatie. Het hiaat tussen de twee formaties omvat bijna het gehele Vroeg-Aptien (Herngreen et al., 1991). Op het Texel-IJsselmeer Hoog en het Friesland Platform bedekt de Holland Formatie discordant de Limburg, de Boven-Rotliegend, de Zechstein of de Onder-Germaanse Trias Groep. De Holland Formatie wordt concordant bedekt door afzettingen van de Krijtkalk Groep.

Figuur 8.4 Lithostratigrafisch schematisch profiel F-F' van de Onder-Krijt afzettingen. Profiel doorsnijdt de 'corridor' die het Vlieland Bekken met het Nedersaksisch Bekken verbond vanaf het Hauterivien. De lokatie van F-F' is aangegeven in figuur 8.2.



De Holland Formatie komt in het hele kaartbladgebied voor met uitzondering van het Centraal-Nederlands Bekken, waar de formatie afwezig is door erosie. De dikte varieert van 34 m in het centrale gedeelte van het kaartblad tot meer dan 190 m in het oosten.

De *Onder-Holland Mergel* is opgebouwd uit licht- en donkergrijze mergelige kleistenen. Soms hebben deze sedimenten een roodbruine of okergele kleur.

De *Onder-Holland Mergel* bedekt het Vlieland Schalie Laagpakket met een hiaat, dat bijna het volledige Vroeg-Aptien omvat (Herngreen et al., 1991). De *Onder-Holland Mergel* is afgezet gedurende het Midden- en Laat-Aptien. De dikte varieert van 2 m in het noordwesten tot 20 m in het oosten van het gebied. Het laagpakket ontbreekt op het Texel-IJsselmeer Hoog.

De *Midden-Holland Schalie* bestaat in het kaartbladgebied uit donkergrijze kleisteen. Het kleisteenpakket is met behulp van boorgatmetingen goed te correleren in het noorden van het kaartbladgebied. Het laagpakket is op het Texel-IJsselmeer Hoog niet aanwezig.

De *Midden-Holland Schalie* is goed te onderscheiden door een hogere gamma-ray waarde en een lagere akoestische snelheid van de onder- en bovenliggende mergel pakketten van de Holland Formatie (fig. 8.1). Het laagpakket heeft een Vroeg-Albien tot en met Midden-Albien ouderdom.

De *Midden-Holland Schalie* ligt, in het kaartbladgebied gescheiden door een hiaat, op de *Onder-Holland Mergel* (Herngreen et al., 1991). Dit hiaat is in het bijzonder in het noorden van het kaartbladgebied duidelijk en omvat de Aptien-Albien overgang. De maximale dikte van het schaliekpakket bedraagt 39 m in het noordoosten van het kaartbladgebied.

De *Boven-Holland Mergel* is opgebouwd uit lichtgrijze en lichtpaars gekleurde mergelige en siltige kleisteen. De *Boven-Holland Mergel* is van Laat-Albien ouderdom. Volgens Herngreen et al. (1991) zijn er enige kleine hiaten in de *Boven-Holland Mergel* opeenvolging.

Op het Texel-IJsselmeer Hoog ligt de *Boven-Holland Mergel* met een discordant contact op de afzettingen van de Limburg, de Boven-Rotliegend of de Zechstein Groep (fig. 8.4; RGD, 1992b). Op de noordelijke flank van het Texel-IJsselmeer Hoog ligt de *Boven-Holland Mergel* concordant op de *Midden-Holland Schalie*. De *Boven-Holland Mergel* wordt concordant bedekt door de Texel Krijtkalk Formatie. De dikte van de mergel neemt in zuidoostelijke richting toe, van ruim 20 m in het noorden van het gebied tot 95 m in het zuidoosten.

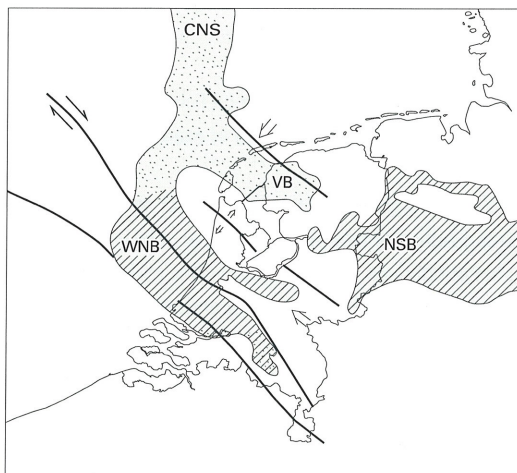
8.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

Het noorden van Nederland kwam in het Ryazanien geheel onder water te liggen als gevolg van een geleidelijk stijgende zeespiegel. Syn-sedimentaire breukbewegingen waren actief tijdens de afzetting van de Rijnland Groep in het noorden van het kaartbladgebied. De zandige, mariene sedimenten die vanaf het Ryazanien tot in het Barremian in het kaartbladgebied zijn afgezet vormen de basis van een transgressieve opeenvolging. De Rijnland Groep kan in zijn geheel beschouwd worden als een transgressieve megasequentie. De zandige niveau's van het Onder-Krijt zijn diachroon op het Laat-Kimmerische paleoreliëf afgezet. De zee overspoelde uiteindelijk ook het Texel-IJsselmeer Hoog als gevolg van een regionale transgressie die voortduurde tot in het Laat-Krijt (Crittenden, 1987).

De zanden van de Vlieland Formatie werden aanvankelijk, in het Nedersaksisch Bekken en het centrum van het Vlieland Bekken, in een ondiep marien milieu afgezet. De dikte en het voorkomen

Figuur 8.5 Paleogeografie van het Onder-Krijt in Nederland (naar Ziegler, 1990).

Valanginien



 continentale en lacustriene sedimenten
 kustnabije, ondiep mariene klastica

NSB Nedersaksisch Bekken
 VB Vlieland Bekken
 WNB West-Nederlands Bekken
 CNS Centrale Noordzee Slenk

Hauterivien - Barremien



 ondiep mariene kleistenen
 kustnabije, ondiep mariene klastica

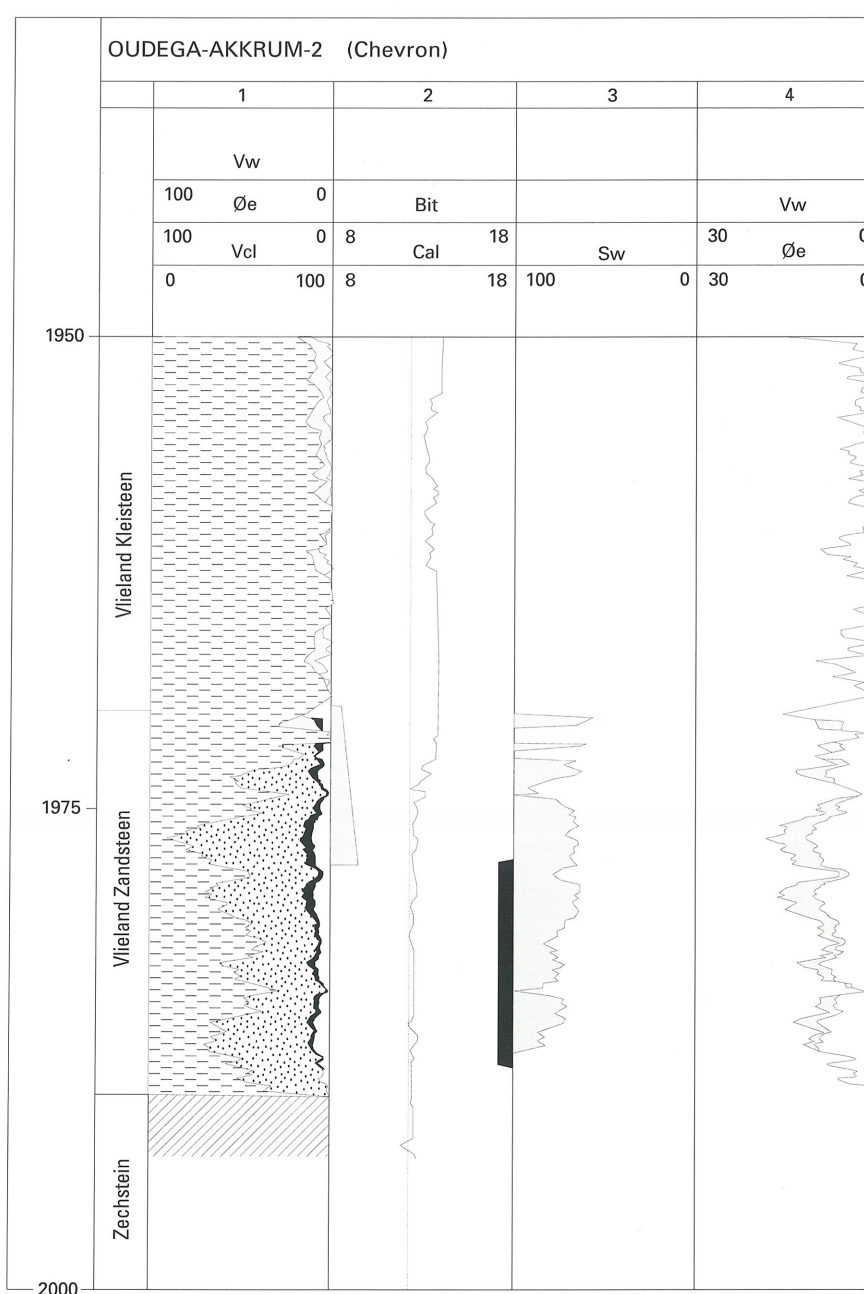
Aptien - Albien



 ondiep mariene kleisteen mergels en carbonaten
 Kustnabije, ondiep mariene klastica

van de zandsteen werd voornamelijk bepaald door het paleoreliëf ontstaan aan het eind van de Laat-Kimmerische tektonische fase. Wellicht zijn de grove conglomeratische inschakelingen afgezet in het distale bereik van puinwaaiers die in zee uitkwamen.

Figuur 8.6 Petrofysische evaluatie van het Vlieland Zandsteen traject in de boring Oudega-Akkrum-2. Kolom 1: kleigehalte Vcl, effectieve porositeit ϕ_e en poriënvolume water Vw, alle in procenten. Omdat de Vlieland Zandsteen plaatselijk glauconiet bevat, kan de gamma-ray log niet als klei-indicator dienen. Het kleigehalte werd bepaald m.b.v. de density-sonic indicator (Fertl, 1987). De effectieve porositeit werd verkregen door gebruik te maken van het 'single porosity model' met de density log (sonic log) als porositeitslog, waarbij de berekende porositeit gecorrigeerd werd voor de aanwezige klei en de aanwezige koolwaterstoffen. Kolom 2: boorgatdiameter (Cal) en boorbeiteldiameter (Bit), beide in inches; bovendien is het geteste interval (appendix H) weergegeven d.m.v. een trapezium, en het gekernde interval d.m.v. een zwarte balk. Kolom 3: de watersaturatie Sw, in procenten. Voor de bepaling van de watersaturatie werd de Indonesia-formule gebruikt (Fertl, 1987). Kolom 4: effectieve porositeit ϕ_e (linker curve) en poriënvolume water Vw (rechter curve), beide in procenten. In de linkerkolom zijn de formatiegrenzen aangegeven. Diepten zijn werkelijke diepten.



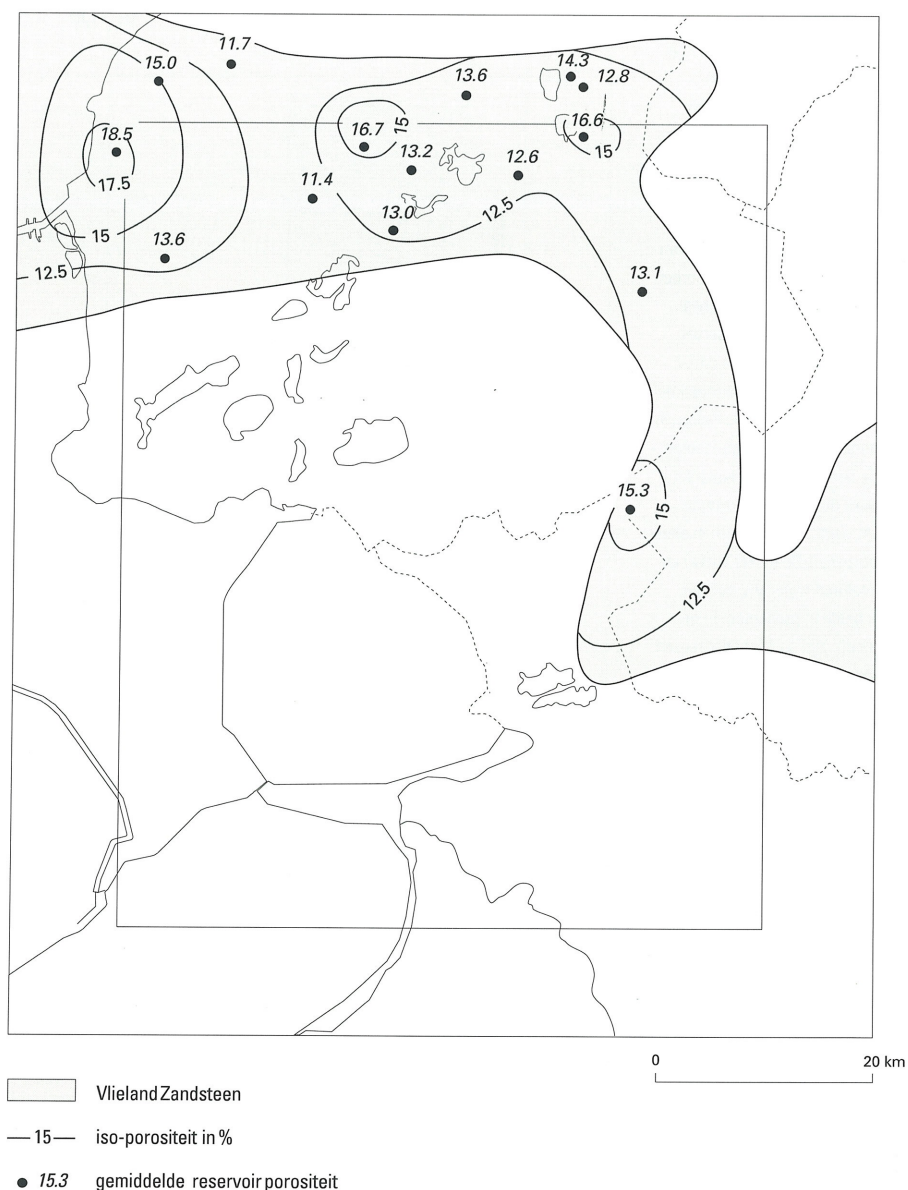
Legenda kolom 1

- | | |
|--|---|
|  klei percentage |  koolwaterstoffen percentage |
|  zand percentage |  water percentage |
|  anhydriet percentage | |

Gedurende het Hauterivien en het Barremien werden al kleien afgezet in de inmiddels diepere bekkens, zoals het Vlieland Bekken en het Nedersaksisch Bekken. De datering van de basale Vlieland Zandsteen in de boring Wanneperveen-1 (RGD, 1991c) wijst erop dat de 'corridor' tussen het Vlieland Bekken en het Nedersaksisch Bekken niet eerder tot stand was gekomen dan in het Barremien. In het Hauterivien en het Barremien breidde de sedimentatie van kleien zich uit over de hogen. De transgressie in het Vlieland Bekken kwam uit het noorden via de Centrale Noordzee Slenk vanuit de Atlantische Oceaan, terwijl de transgressie in het Nedersaksisch Bekken via de Poolse Trog vanuit de oostelijke Tethys kwam.

Het lokale voorkomen van de Vlieland Zandsteen in het kaartbladgebied wordt aannemelijk, wanneer de paleogeografische situatie van het Onder-Krijt gedurende en ná de Laat-Kimmerische

Figuur 8.7 Schematische contourkaart van de reservoir-gemiddelde effectieve porositeit ϕ_{em} (in procenten) van de Vlieland Zandsteen. De waarden van de met stip aangegeven datapunten zijn weergegeven in appendix G. Voor de porositeitswaarden die niet in deze appendix vermeld staan, wordt verwezen naar Rijks Geologische Dienst, 1991a en 1991b.



fase, beschouwd wordt (fig. 8.5). De zanden in het Zuidelijke Vlieland Bekken en in de subbekkens van Leeuwarden en Wanneperveen werden in een kustnabij en marien milieu afgezet, terwijl de bekkens door middel van rivieren en puinwaaier systemen gevoed werden met grofkorrelig sediment vanaf de hoge structuren. Met de voortdurende Onder-Krijt transgressie worden de Vlieland zanden diachroon op het Laat-Kimmerische paleoreliëf afgezet.

Aan het eind van het Barremien lag alleen het Texel-IJsselmeer Hoog nog boven zeeniveau. Tijdens het Aptien en het Albien stak er nog maar weinig land met gering reliëf boven het water uit. De kustlijn lag gedurende het Aptien en het Albien zuidelijk van het kaartbladgebied; hierdoor was de influx van klastische bestanddelen lager dan voorheen en werden de sedimenten van de Holland Formatie mergelig. Echter, pas in het Laat-Albien overspoelde de zee de hoogste delen van het Texel-IJsselmeer Hoog en werd de Boven-Holland Mergel afgezet (RGD, 1992b).

8.3 Petrofysische evaluatie

In het noorden en oosten van het kaartbladgebied liggen een aantal kleine gasvelden die gas produceren uit de Vlieland Zandsteen (fig. 1.2; Cottençon et al., 1975). Voor de petrofysische evaluatie van de Vlieland Zandsteen op kaartbladgebied V zijn zeven boringen geselecteerd (appendix G). In twee van deze boringen is de Vlieland Zandsteen gasvoerend (appendix H). Als voorbeeld van een logevaluatie van de Vlieland Zandsteen wordt in figuur 8.6 het resultaat getoond van de boring Oudega-Akkum-2.

In figuur 8.7 is schematisch de verdeling van de reservoir-gemiddelde effectieve porositeit van de Vlieland Zandsteen weergegeven. De verbreidingsgrenzen van de Vlieland Zandsteen zijn gebaseerd op putgegevens. Vergelijking van deze figuur met de diktekaart van de Vlieland Zandsteen (fig. 8.3) laat zien dat de maxima van de porositeitswaarden samen vallen met de depocentra van de Vlieland Zandsteen.

9 Krijtkalk Groep

9.1 Stratigrafie

De Krijtkalk Groep wordt onderverdeeld in de Texel Krijtkalk en de Ommelanden Krijtkalk Formatie (fig. 9.1). De grens tussen deze twee formaties wordt gelegd aan de top van een markante donkere kleirijke mergellaag (Plenus Mergel). De Krijtkalk Groep bestaat in het kaartbladgebied uit een dik pakket mergelige kalken en goed gecementeerde, lichtgekleurde krijtkalken. De sedimenten bevatten weinig terrigeen materiaal en zijn opgebouwd uit de kalkskeletten van planktonische en benthonische organismen (coccolieten, foraminiferen, bryozoën, echinodermen). Depositionele hiaten in de Krijtkalk Groep manifesteren zich in de opeenvolging vaak als 'hardgrounds'. In het kaartbladgebied is de Krijtkalk Groep van Laat-Krijt ouderdom.

De Krijtkalk Groep afzettingen komen bijna in het gehele kaartbladgebied voor, alleen niet in het Centraal-Nederlands Bekken als gevolg van erosie (Kaart 13). Vanaf de noordrand van het Centraal-Nederlands Bekken neemt de dikte geleidelijk toe en bereikt meer dan 950 m in het noordoosten van het kaartblad (Kaart 14).

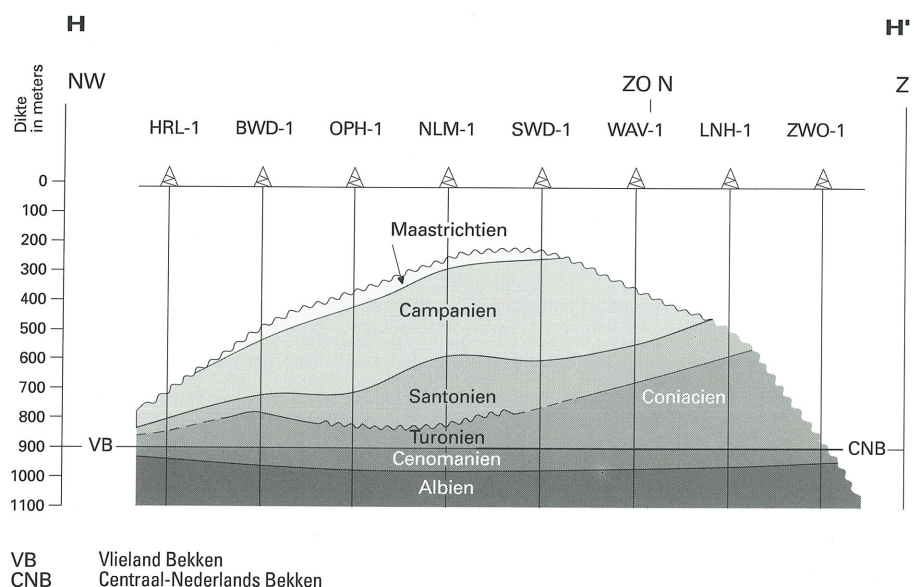
9.1.1 Texel Krijtkalk Formatie

De Texel Krijtkalk Formatie bestaat voor het grootste gedeelte uit lichtgrijze mergelige krijtkalk, die naar boven zuiver kalkig wordt. Aan de top van de formatie bevindt zich een markante, over grote afstanden te vervolgen, mergellaag van enkele meters dik, de Plenus Mergel.

De Plenus Mergel is op boorgatmetingen goed te herkennen aan een relatief lage akoestische snelheid, hoge gamma-ray waarde en hoge soortelijke weerstand. De Plenus Mergel ontleent haar naam aan de voortzetting ervan in het zuidelijk deel van de Krijtzee, waarin, vooral in Engeland, de belemniet *Actinocamax plenus* veelvuldig wordt aangetroffen.

De Texel Krijtkalk Formatie vertoont een uniforme opbouw in het kaartbladgebied. De dikte varieert

Figuur 9.1 Chronostratigrafisch correlatieprofiel H-H' van de Krijtkalk Groep in kaartbladgebied V. De ligging van het profiel is aangegeven in figuur 9.2.



hier van 50 m in het noorden tot 85 m in het zuiden. De formatie heeft een Cenomanien tot vroegste Turonien ouderdom.

9.1.2 Ommelanden Krijtkalk Formatie

De Ommelanden Krijtkalk Formatie is voor het grootste gedeelte opgebouwd uit een witte tot lichtgrijze krijtkalk. In de opeenvolging worden verschillende niveau's van laagparallele vuursteenconcreties aangetroffen.

De formatie ligt concordant op de Texel Krijtkalk Formatie en wordt discordant bedekt door de klastische afzettingen van de Noordzee Supergroep.

De formatie heeft een Turonien tot en met Maastrichtien ouderdom. Intraformationele hiaten zijn biostratigrafische aangetoond (RGD, 1991b), waarvan een deel met loggegevens kan worden gecorreleerd (RGD, 1988).

De Ommelanden Krijtkalk Formatie is voornamelijk opgebouwd uit fijnkorrelige, micritische kalksteen, die ontstaan is door de accumulatie van skeletten van planktonische mariene algen, vnl. vertegenwoordigers van het phylum *Haptophyceae* (Hancock, 1984; Christensen, 1962) en van planktonische en benthonische foraminiferen. Wanneer de Haptophyta-skeletten tabletachtige korrels zijn die in ringen gerangschikt liggen wordt gesproken van coccolieten (Hancock & Scholle, 1975). In de Ommelanden Formatie is echter van deze textuur weinig meer terug te vinden. Vanuit een chemisch oogpunt verschilt krijtkalk fundamenteel van gewone kalk door het lage magnesium gehalte van de krijtkalk.

Binnen het kaartblad varieert de dikte van de formatie als gevolg van erosie zeer sterk. De Laramische opheffing (inversie) leidde tot erosie van de Ommelanden Krijtkalk Formatie in het Vlieland en het Centraal-Nederlands Bekken. In het Centraal-Nederlands Bekken is daardoor de gehele Krijtkalk Groep verdwenen (fig. 9.1).

Figuur 9.2 geeft de diktekaart van de Ommelanden Krijtkalk Formatie in Noord-Nederland. In het noordoostelijke gedeelte van het kaartblad bereikt de dikte van de Ommelanden Krijtkalk Formatie plaatselijk meer dan 800 m. In het uiterste noordwesten is de huidige dikte van de Ommelanden Formatie ca. 200 m. Het centrum van het gebied representeert een zadel (fig. 9.2), en in het zuiden wordt de gehele Krijtkalk Groep afgesneden door de zuidelijke randbreuk van het Texel-IJsselmeer Hoog (Kaart 14, profiel 2). De bovenkant van de Ommelanden Krijtkalk Formatie is in het zuiden van het kaartbladgebied geërodeerd (fig. 9.1).

In het gebied ten oosten van het kaartbladgebied is de dikte van de Ommelanden Krijtkalk Formatie beïnvloed door halokinese gedurende het Laat-Krijt. Er is een oorzakelijk verband tussen de dikte van de Ommelanden Formatie en de groei van zoutkussens, met name in de omgeving van Dwingeloo in het oosten van het kaartbladgebied. Direct boven het zoutkussen is de formatie verdund, terwijl direct rondom de structuur, in de randsynclines, de formatie is verdikt (Kaart 14 & fig. 9.2).

9.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

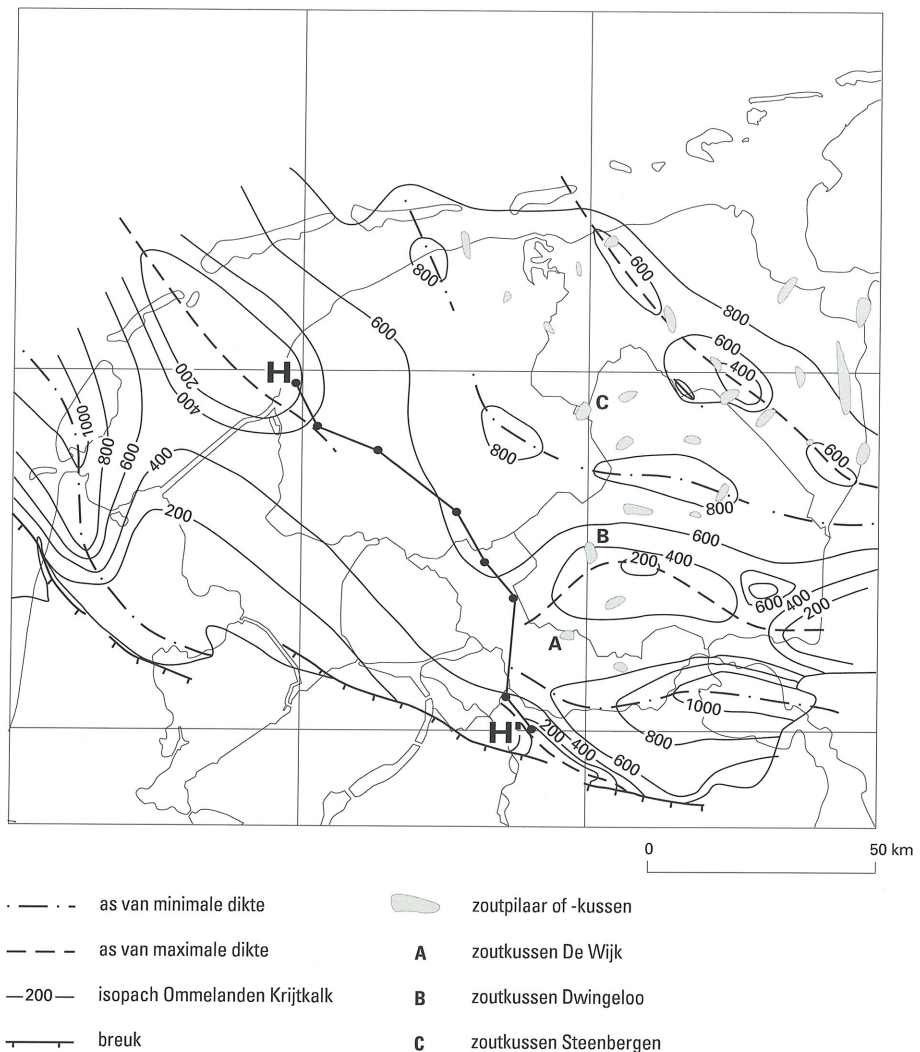
Binnen het kaartbladgebied waren de laatste landmassa's reeds gedurende het Albien overspoeld geraakt. Deze transgressie zette zich tot in het Laat-Krijt voort en ontwikkelde zich tot een mondiaal

verschijnsel (Pitman, 1978; Donovan & Jones, 1979; Haq et al., 1987). De kustlijn verschoof naar het zuiden van Nederland en de influx van terrestrisch sediment werd geleidelijk aan minder.

De sedimenten van de Krijtkalk Groep weerspiegelen een afzettingsmilieu, dat steeds meer gekarakteriseerd wordt door pelagische sedimentatie. Dit in tegenstelling tot de Holland Formatie die nog opgebouwd is uit schalies en mergels. De grote dikte van de Ommelanden Krijtkalk Formatie (in het kaartbladgebied is meer dan 950 m aanwezig) is te danken aan de langdurige en continue pelagische regen van coccolieten. Een maximale afzettingsdiepte in de Krijtze van 150 – 200 m is voorgesteld door Hancock & Scholle (1975).

Van de Plenus Mergel werd aangenomen dat deze is afgezet in een periode met een lage zuurstofconcentratie in het zeewater, als gevolg van een slechte circulatie (Schlanger et al., 1987). Dit model ging uit van een geringe en constante kleis sedimentatie, terwijl de hoeveelheid organisch pelagisch materiaal afnam, zodat het hier een sterk gecondenseerde afzetting betreft. Recent geochemisch onderzoek aan de Plenus Mergel uit Engeland wijst een $\delta^{13}C$ anomalie uit die samen

Figuur 9.2 Isopachenkaart van de Ommelanden Krijtkalk Formatie in Noord-Nederland met assen van maximale en minimale diktes op basis van boringen. Tevens ligging van de zoutkussens Steenberg, Dwingeloo en De Wijk in het kaartbladgebied en de ligging van profiellijn H-H'.



valt met een maximale regressie en een verhoogde aanvoer van terrestrisch materiaal (Jeans et al., 1991).

Tijdens het Cenomanien en het Turonien zijn er in het kaartbladgebied weinig aanwijzingen voor tektonische bewegingen. Hierna, tijdens het Coniacien kwam er, met name in het Vlieland Bekken, een einde aan deze tektonische rust (Rijks Geologische Dienst, 1991a). Het extensionele regime maakte plaats voor een compressief stressveld, dat inversie van de verschillende sedimentaire bekkens tot gevolg had (Subhercynische fase). Inversiebewegingen waren maximaal in het Santonien en het Campanien, waardoor anticlinale structuren boven de erosiebasis uitstaken (Betz et al., 1987; Van Wijhe, 1987a). Redepositie van het kalkig materiaal vond wellicht plaats in de synclinale bekkenstructuren. Ten westen van het kaartbladgebied zijn grote intraformationele hiaten van Coniacien ouderdom aanwezig (Rijks Geologische Dienst, 1993a).

Als gevolg van de inversietektoniek is, ten zuiden van de zuidelijke Texel-IJsselmeer randbreuk, de gehele Krijtkalk Groep afwezig. Direct ten noorden van deze randbreuk is het sedimentpakket van de Krijtkalk Groep door erosie sterk verdund.

9.3 Reservoir-geologische aspecten

Het Harlingen gasveld, dat produceert uit het allerhoogste deel van het Krijtkalk pakket (Campanien en Onder-Maastrichtien), ligt slechts voor een klein gedeelte in kaartbladgebied V (fig. 1.2). Het veld werd in 1964 ontdekt door Elf Petroland en is tot op heden het enige gasveld in de Krijtkalk in Nederland. Het reservoir bevindt zich in een anticlinale structuur die met een hoekdiscordant contact bedekt wordt door kleistenen van de Onder-Noordzee Groep. De anticlinale opwelling is ontstaan als gevolg van zoutbewegingen en van inversie aan het eind van het Krijt. De intergranulaire porositeit wordt bijna geheel gevormd door ruimtes tussen complete, onbeschadigde coccolieten of fragmenten ervan, en bedraagt gemiddeld 28 tot 30 % (Van den Bosch, 1983).

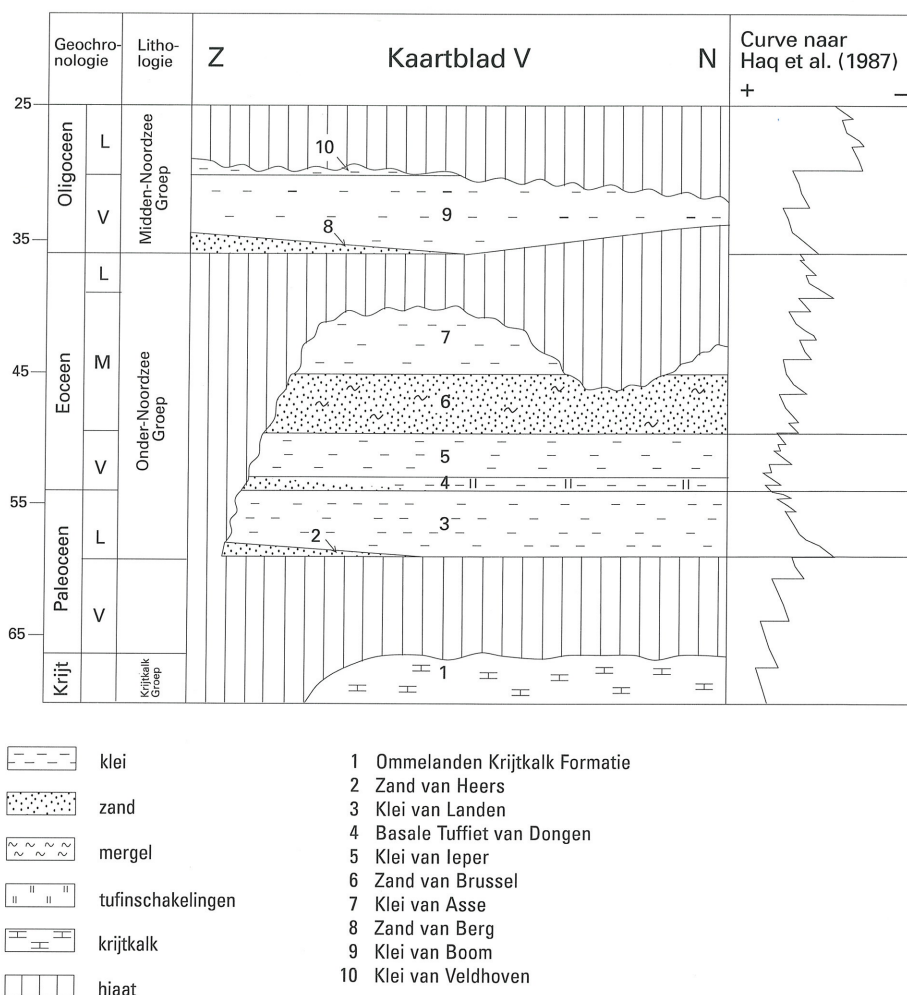
10 Noordzee Supergroep

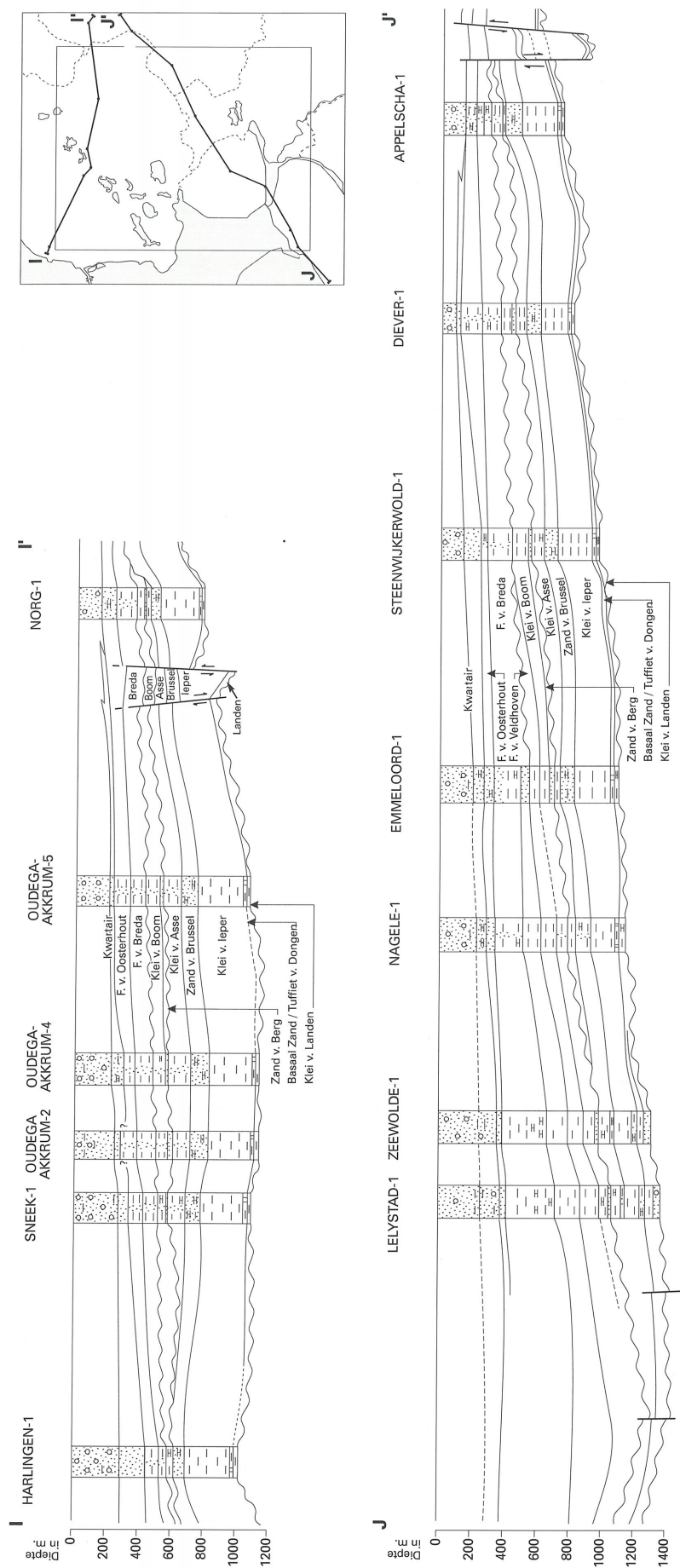
10.1 Stratigrafie

De Noordzee Supergroep is hoofdzakelijk opgebouwd uit kleien en zanden, die in een ondiep marien tot continentaal milieu zijn afgezet. De Supergroep is onderverdeeld in de Onder-Noordzee, de Midden-Noordzee en de Boven-Noordzee Groep, welke gescheiden worden door discordanties. In het kaartbladgebied bedekken de sedimenten van de Noordzee Supergroep voornamelijk de afzettingen van de Krijtkalk Groep. Alleen in het Centraal-Nederlands Bekken ligt de Noordzee Supergroep met een discordant contact op de Rijnland Groep, de 'Boven-Jura' Groep, de Altena Groep en, zeer plaatselijk, op de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groepen, op de Zechstein Groep en op de Rotliegend Groep (Kaart 17).

De Noordzee Supergroep wordt in het gehele kaartbladgebied aangetroffen (Kaart 15 & fig. 10.1). In het uiterste zuidwesten bedraagt de dikte van de supergroep 1300 m (Kaart 15). Deze dikte neemt buiten het kaartbladgebied verder toe tot meer dan 1500 m in het Zuiderzee Diep (fig. 11.1). In het oosten van het kaartbladgebied wordt boven de zoutkussens een dikte van minder dan 500 m aangetroffen.

Figuur 10.1 Lithostratigrafisch diagram van de Onder- en Midden-Noordzee Groep van het kaartbladgebied en curve naar Haq et al. (1987).





Figuur 10.2 Schematisch profielen I-I' en J-J' door de Kenozijsche afzettingen (naar Rijks Geologische Dienst, 1983 en 1984). Opvallend zijn de Hantum Breuk in het noordoosten en het Zuiderzee Diep in het zuidwesten van het kaartbladgebied.

De opbouw van de Onder- en Midden-Noordzee Groep in het kaartbladgebied staat weergegeven in figuur 10.1 en vertoont een algehele regressieve trend. De geologie van de gehele Noordzee Supergroep wordt verduidelijkt aan de hand van twee profielen door de Kenozoïsche bedekking van het kaartbladgebied (fig. 10.2).

De beschrijving van de afzettingen van de Noordzee Supergroep is veelal gebaseerd op rapporten van de Rijks Geologische Dienst (Rijks Geologische Dienst, 1983, 1984). De afzettingen hebben een Tertiaire en Kwartaire ouderdom. De Kwartaire sedimenten worden in deze toelichting slechts kort genoemd, daar zij uitgebreid aan de orde komen in 'Toelichting bij de Geologische kaart van Nederland, 1:50.000' van de ondiepe ondergrond, eveneens uitgebracht door de Rijks Geologische Dienst.

10.1.1 Onder-Noordzee Groep

De Onder-Noordzee Groep is de onderste eenheid van het Tertiair en bedekt in het gehele kaartbladgebied met een discordant contact oudere formaties (fig. 10.1), en wordt discordant bedekt door de Midden-Noordzee Groep. De Onder-Noordzee Groep bestaat uit de Formatie van Landen en de Formatie van Dongen (fig. 10.1). De Onder-Noordzee Groep is afgezet gedurende het Paleoceen en het Eoceen.

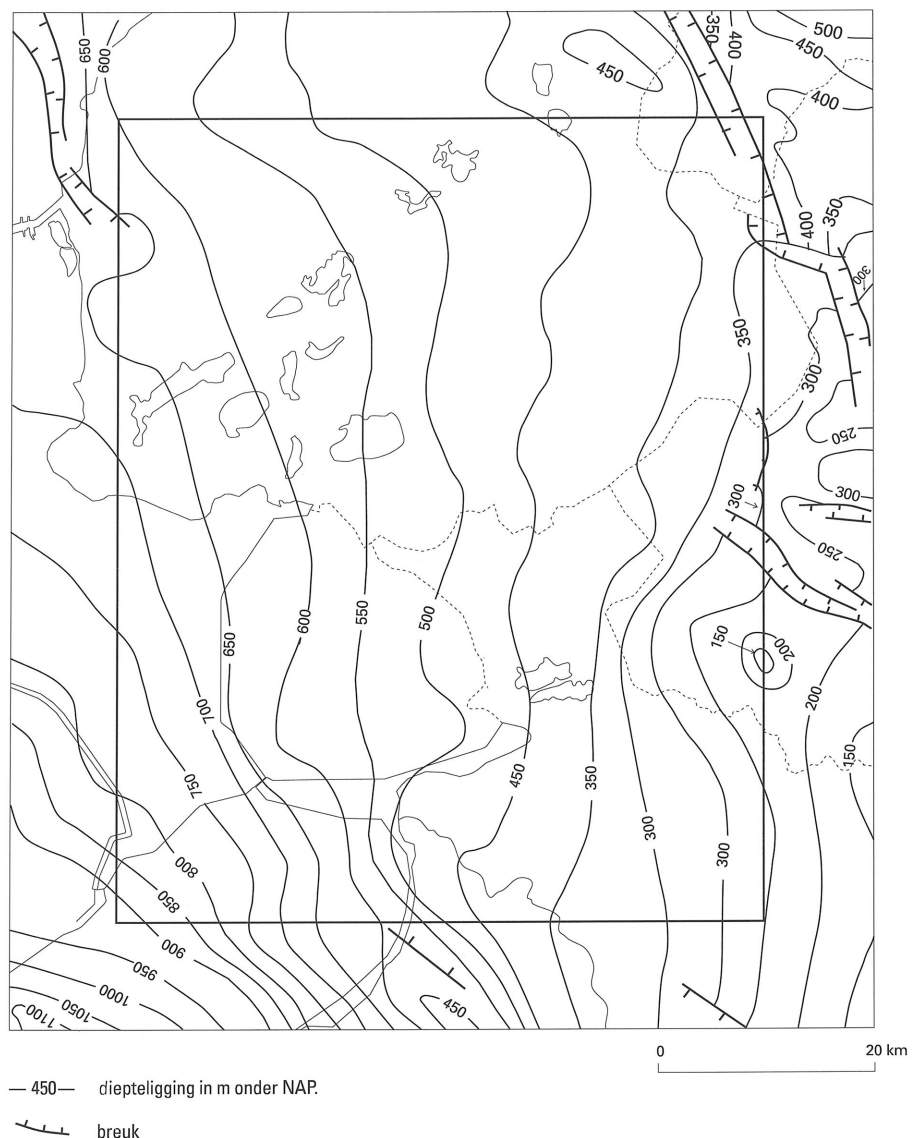
De *Formatie van Landen* is opgebouwd uit klei en zand (fig. 10.1) en is bijna in het gehele kaartbladgebied aanwezig (fig. 10.2). De formatie is afgezet gedurende het Paleoceen en is onderverdeeld in het Zand van Heers en de Klei van Landen. Het *Zand van Heers* bestaat uit groengrijze, zeer fijnkorrelige zanden, die glauconiet en schelpen bevatten. De zanden zijn licht gecementeerd met kalk. Een dikte van 20 m komt voor in het Centraal-Nederlands Bekken. De *Klei van Landen* is een 10 tot 50 m dikke groengrijze kleilaag, welke glauconiet, glimmers en pyriet bevat. Ten oosten van het kaartbladgebied neemt de dikte van de kleilaag iets af. De kleiige sedimenten zijn plaatselijk verhard door kalk. De kustlijn lag ten tijde van de sedimentatie van de Klei van Landen in het oosten van Nederland.

De *Formatie van Dongen* bestaat uit de Basale Tuffiet van Dongen, de Klei van Ieper, het Zand van Brussel en de Klei van Asse. De totale dikte van de formatie in het kaartbladgebied varieert van 150 m in het zuiden tot meer dan 450 m in het noorden (fig. 10.1). Deze diktetoeename naar het noorden is zowel het gevolg van erosie in het zuiden, als van een grotere bodemdaling in het noorden van het kaartbladgebied (Rijks Geologische Dienst, 1984). Grote diktes worden aangetroffen in de breukstructuur van de Hantum Slenk in het uiterste noordoosten van het kaartblad. De Formatie van Dongen ligt concordant op de Formatie van Landen. In een deel van het Centraal-Nederlands Bekken is de Formatie van Dongen geërodeerd. De formatie wordt discordant bedekt door de afzettingen van de Midden-Noordzee Groep. De Formatie van Dongen is afgezet gedurende het Eoceen.

De *Basale Tuffiet van Dongen* is opgebouwd uit groengrijze glauconiethoudende zandige kleien en donkere tufinschakelingen. De dikte varieert van 16 m in het noorden tot 25 m in het zuiden. De *Klei van Ieper* bestaat uit een klei aan de basis en uit zandige klei aan de top. Het kleiige pakket aan de basis is bruingrijs van kleur en bevat pyriet, ingekoolde plantenresten, en benthonische foraminiferen. De vette kleien bevatten zandige en siltige niveau's. Het bovenste deel van de Klei van Ieper bevat groengrijze, glauconiethoudende en mergelige, siltige zandinschakelingen. Zandnesten in het pakket wijzen op bioturbatie. De dikte van deze formatie neemt toe van bijna 90 m in het zuiden tot ruim 250 m in het noorden. Het *Zand van Brussel* is voornamelijk opgebouwd

uit zeer fijnkorrelige glimmerhoudende zanden en bevat veel schelpmateriaal, zeeëgelfragmenten en glauconiet. Naar boven neemt het kalkgehalte toe, het glauconietgehalte daarentegen af. De dikte neemt van enkele tientallen meters in het zuiden snel toe tot een gemiddelde dikte van 120 m in het noorden van het kaartbladgebied. Grotere diktes treden op rond zoutstructuren (par. 4.3) en in gebieden waar synsedimentaire breuktektoniek heeft plaats gevonden (Hantum Breuk). In dit laatste genoemde gebied worden diktes van meer dan 250 m bereikt. De *Klei van Asse* is een plastische groengrijze tot blauwgrijze kalkhoudende klei. De klei bevat veel pyriet en glauconiet. Het gehele pakket bevat zandnesten als gevolg van bioturbatie. Grote dikteverschillen in de *Klei van Asse* treden op als gevolg van erosie in het zuiden en zoutbewegingen in het noorden. De gemiddelde dikte van het pakket is 70 m.

Figuur 10.3 Dieptekaart van de Savische discordantie of dieptekaart van de basis van de Boven-Noordzee Groep (= basis Breda Formatie) laat een sterke verdikking naar het westen en het zuidwesten zien: het Zuiderzee Diep (naar RGD 1983, 1984).



10.1.2 Midden-Noordzee Groep

De Midden-Noordzee groep ligt discordant op de Onder-Noordzee Groep en wordt discordant bedekt door de Boven-Noordzee Groep (fig. 1.5). De groep is in het kaartbladgebied onderverdeeld in de Formatie van Rupel en de Formatie van Veldhoven (fig. 10.1). De Midden-Noordzee groep is afgezet gedurende het Oligoceen.

De *Formatie van Rupel* bestaat uit het Zand van Berg en de Klei van Boom. De ouderdom van de formatie is Vroeg- en Midden-Oligoceen. Het *Zand van Berg* is een dunne, glauconiet- en pyriethoudende zandlaag met een maximale dikte van 25 m, die bijna in het gehele kaartbladgebied is afgezet. In gebieden waar sterke halokinese heeft plaats gevonden (ten noorden en ten westen van het kaartbladgebied) is het Zand van Berg afwezig. De *Klei van Boom* bestaat uit stugge, vette, pyriethoudende groengrijze klei en is in het kaartbladgebied afgezet als een kleilaag van 20 tot 60 m dik. In de slenk van de Hantum Breuk bereikt de Klei van Boom een dikte van 111 m.

De *Formatie van Veldhoven* wordt slechts door de Klei van Veldhoven vertegenwoordigd in het kaartbladgebied. Dit laagpakket bestaat uit grijsgroene, siltige en zandige pakketten en uit klei, die glauconiet, glimmer en pyriet bevat. De formatie is afgezet gedurende het Laat-Oligoceen. De *Klei van Veldhoven* wordt in het noorden van het kaartbladgebied niet aangetroffen (fig. 10.1 & 10.2). De formatie bereikt een dikte van ruim 100 m in het zuiden van het kaartbladgebied.

10.1.3 Boven-Noordzee Groep

De Boven-Noordzee Groep is onderverdeeld in de Formatie van Breda, de Formatie van Oosterhout, de Formatie van Maasluis en omvat continentale afzettingen aan de top. De groep ligt discordant op de Midden-Noordzee Groep. De dikte is minimaal boven het zoutkussen van Dwingeloo en bedraagt daar ca. 150 m. Naar het westen neemt de dikte van de Boven-Noordzee Groep toe tot 650 m; in het zuidwesten, richting Zuiderzee Diep, tot meer dan 900 m (fig. 10.3). De genoemde Boven-Noordzee formaties zijn afgezet gedurende respectievelijk het Midden/Laat-Mioceen, het Pliocene en het Kwartair. Het hiaat tussen de Midden-Noordzee Groep en de Boven-Noordzee Groep omvat het Vroeg-Mioceen.

De *Formatie van Breda* bestaat uit glauconietrijke, groenzwarte zandige kleien, kleien en zanden. De zandige kleien aan de basis van de formatie hebben een relatief hoge gamma-ray log uitslag. Naar de top van de formatie wordt het glauconietgehalte minder. Het pakket bereikt in het Zuiderzee Diep, direct ten zuiden van het kaartbladgebied, een maximale dikte van 570 m. Met name in het Zuiderzee Diep zijn de bovenste eenheden zandig ontwikkeld en bevatten veel schelpresten. In het noordwestelijk deel van het kaartbladgebied loopt de dikte terug tot 52 m. De dikteverschillen zijn toe te schrijven aan een grotere bekkendaling in het Zuiderzee Diep. De Formatie van Breda is afgezet gedurende het Midden- en Laat-Mioceen.

De *Formatie van Oosterhout* bestaat uit een afwisseling van kleiige zanden en zandige kleien. Vooral het onderste en het bovenste deel van de formatie zijn zandig ontwikkeld. In het Zuiderzee Diep is de zandige basale laag rijk aan schelpresten, zeeëgelfragmenten en visresten. In het kaartbladgebied varieert de dikte van 35 m in het noorden tot 110 m in het zuiden. De ouderdom van de Formatie van Oosterhout is Pliocene.

De *Formatie van Maasluis* bestaat uit een afwisseling van zand- en kleilagen. In het Zuiderzee Diep is de formatie onderin zandig ontwikkeld en rijk aan schelpresten. De top bestaat uit een afwisseling van zand en kleilaagjes, die veel planten- en houtresten bevat. De dikte van de formatie

varieert tussen 20 m en 180 m. De dikte neemt in oostelijke richting af. De Formatie van Maasluis is afgezet in het Vroeg-Pleistoceen (Kwartair).

De jongere formaties van Kwartaire ouderdom zijn opgebouwd uit klei, zand en grind en zijn afgezet onder ondiep-mariene en continentale omstandigheden. Zij nemen in dikte toe van 25 m in het noorden tot 300 m in het zuiden.

10.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

Na een periode van erosie werd in de loop van het Paleoceen de sedimentatie hervat. Zandige en kleiige sedimenten wisselden elkaar onregelmatig af met een bepaalde cycliciteit (fig. 10.1) en werden doorgaans afgezet in een ondiep marien milieu. In het Tertiair waren in het algemeen de relatieve bodemdaling en de sedimentatiesnelheid in evenwicht, maar zeespiegelschommelingen hebben voor enige niet onbeduidende hiaten gezorgd (Zagwijn, 1989). De grootste zeespiegeldaling vond plaats tussen het Vroeg- en het Laat-Oligoceen (fig. 10.1; Haq et al., 1987). Vanaf het Mioceen begon zich in het zuidwesten van het kaartbladgebied een subbekken te ontwikkelen, het Zuiderzee Diep (fig. 11.1 & 10.3). Hierin werden aanvankelijk ondiep mariene en littorale sedimenten afgezet.

De verbreiding van de formaties van de Onder- en Midden-Noordzee Groep in het noordelijk deel van Nederland wordt gegeven in figuur 10.2. In het gebied waar de Landen en de Dongen Formaties afwezig zijn, zijn deze erosief verwijderd gedurende de Pyreneïsche fase. De Formatie van Veldhoven is in het uiterste noorden van Nederland niet aanwezig als gevolg van erosie gedurende de Savische fase. In het noordoosten van het kaartbladgebied beïnvloedde halokinese in belangrijke mate het sedimentatiepatroon gedurende het Tertiair. Hierdoor is de Dongen Formatie boven de zoutstructuren lokaal afwezig.

Tijdens het Pliocene lag de kustlijn direct ten oosten van het kaartbladgebied. Geleidelijk aan werd het afzettingsmilieu steeds meer beïnvloed door continentale omstandigheden. De regressie zette zich voort en het depocentrum verschoof verder naar het noorden (Zagwijn, 1989). Uiteindelijk werden er in het kaartbladgebied, na een marien begin, gedurende het verdere Kwartair slechts continentale sedimenten met enige mariene inschakelingen afgezet.

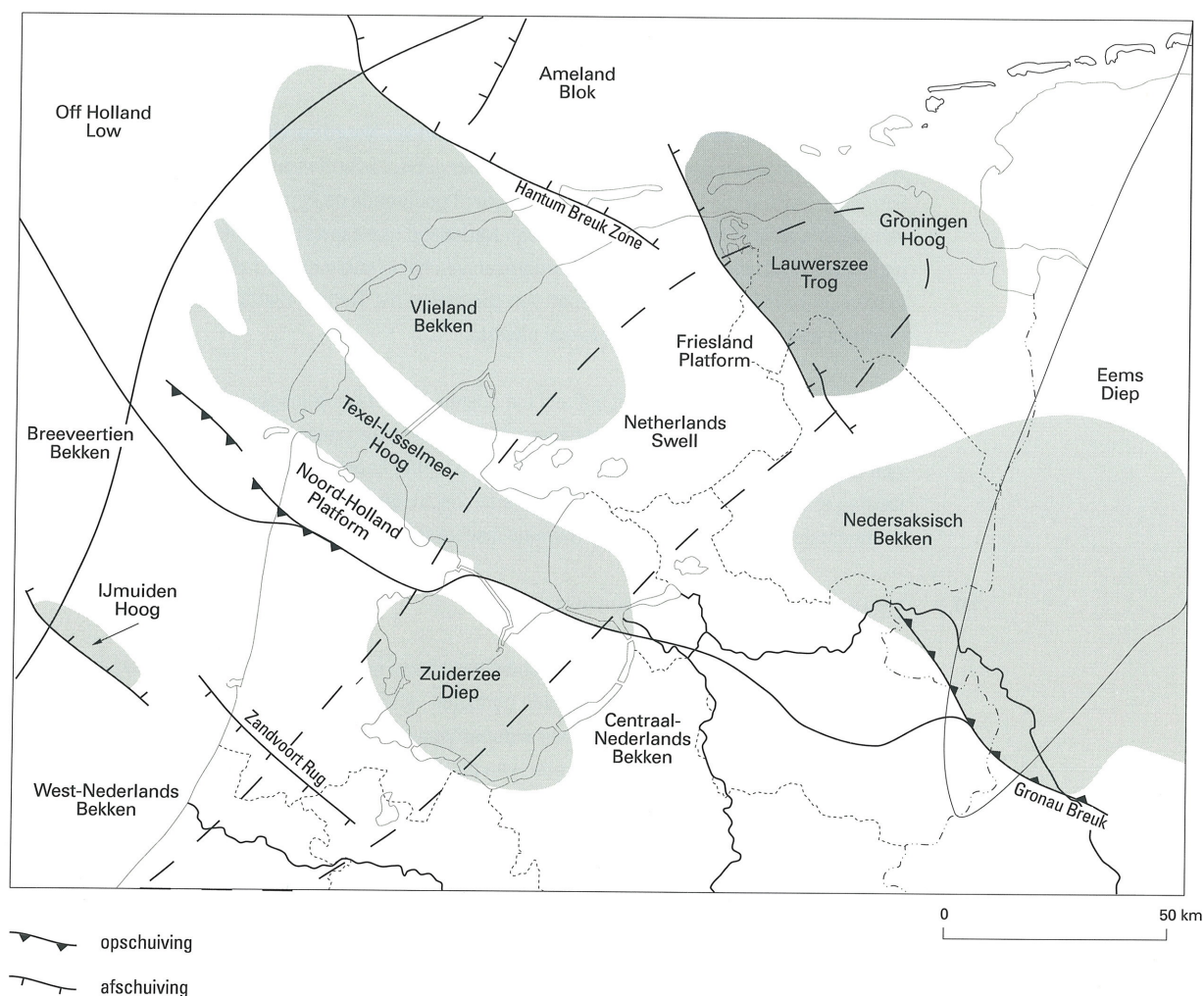
10.3 Reservoir-geologische aspecten

Een van de gasproducerende stratigrafische niveau's van het De Wijk gasveld is de Basale Dongen Tuffiet. Dit reservoir heeft een gemiddelde porositeit van 30% en een permeabiliteit die varieert van 10 tot 100 mD. Deze goede reservoir-eigenschappen van de goed gesorteerde siltstenen zijn voornamelijk te danken aan het ontbreken van detritische klei en diagenetische producten, zoals authigene kwarts (Gdula, 1983).

11 Geologische Geschiedenis

11.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de geologische geschiedenis vanaf het Laat-Carboon tot en met het Kwartair en is opgedeeld in drie delen. In paragraaf 11.2 wordt de structurele geologie van het kaartbladgebied besproken. De begravingsgeschiedenis van de verschillende structurele eenheden wordt behandeld in paragraaf 11.3. In paragraaf 11.4 wordt de algemene bekkenontwikkeling en de sedimentatie in relatie tot de tektonische gebeurtenissen per periode besproken. Voor de gebruikte etagenamen en de tektonische fasen wordt verwezen naar figuur 1.5, 1.6 en 1.7. De belangrijkste structurele elementen die in dit hoofdstuk genoemd worden staan weergegeven in figuur 11.1.



Figuur 11.1 Schematisch overzicht van de voor deze toelichting relevante structurele elementen in Noord-Nederland.

11.2 Structurele geologie

De structurele geologie wordt besproken aan de hand van een geïnterpreteerde seismische sectie (fig. 11.2), een breukenkaart (fig. 11.3) en roosdiagrammen van de verschillende generaties breuken (fig. 11.4).

Bij een discussie over de structurele geologie van het kaartbladgebied neemt het NW-ZO-georiënteerde Texel-IJsselmeer Hoog een centrale plaats in. De zuidrand van het hoog wordt gedefinieerd door afschuivingen met een verzet van minimaal ca. 1000 m van de basis Zechstein (fig. 11.2). De noordelijke en oostelijke begrenzingen van het hoog zijn minder scherp en worden in enge zin gedefinieerd door de afwezigheid van Boven-Rotliegend sedimenten. Het Texel-IJsselmeer Hoog is een gekanteld breukblok met een NW-ZO oriëntatie. De kanteling vond plaats tijdens de Kimmerische tektonische fasen en is verantwoordelijk voor de naar het noorden hellende lange flank en de door breuken gedefinieerde zuidrand. Als gevolg van deze kanteling heeft de erosie het diepst ingesneden aan deze zuidrand (Kaart 18, profiel 2 en 3).

Breukvorming vond plaats in het kaartbladgebied tijdens de Laat-Varistische, Saalische tektonische fase. De NO-ZW strekkende zeer open plooien vinden hun oorsprong in die periode.

De trend van het Varistische breukensysteem varieert van WNW tot NNW (fig. 11.4). Dat het Texel-IJsselmeer Hoog minimaal een Laat-Varistische ouderdom heeft, wordt gesuggereerd door het dikteverloop van de Perm sedimenten (Rotliegend en Zechstein) die aanwezig zijn rond het Texel-IJsselmeer Hoog (fig. 3.4 & 4.2). Synsedimentaire breuktektoniek en de ontwikkeling van het Centraal-Nederlands Bekken vond plaats gedurende de afzetting van de Zechstein sedimenten (Laat-Perm).

Tijdens het opbreken van het supercontinent Pangea, gedurende de Jura, zijn breuken ontstaan in een extensief spanningsveld (Kimmerische fase). Deze breukvorming vond plaats gedurende de Vroeg-, Mid- en Laat-Kimmerische fase. Een onderscheid tussen breuken van de Laat-Kimmerisch I en II pulsen is niet gemaakt, omdat deze in het betreffende gebied, waar sterke erosie optrad aan het einde van de Jura, niet apart zijn te onderscheiden. De Laat-Kimmerische breuktektoniek deed een netwerk van breuken in Perm, Trias en Onder-Jura sedimenten ontstaan (fig. 11.3). De Laat-Kimmerische afschuivingen vertonen een trend die varieert van W tot NNW. De minimale hoofdspanningsrichting σ_3 (loodrecht op de strekkingsrichting van de afschuivingen) staat gedurende de Laat-Kimmerische fasen N-Z tot WZW-ONO georiënteerd (fig. 11.4).

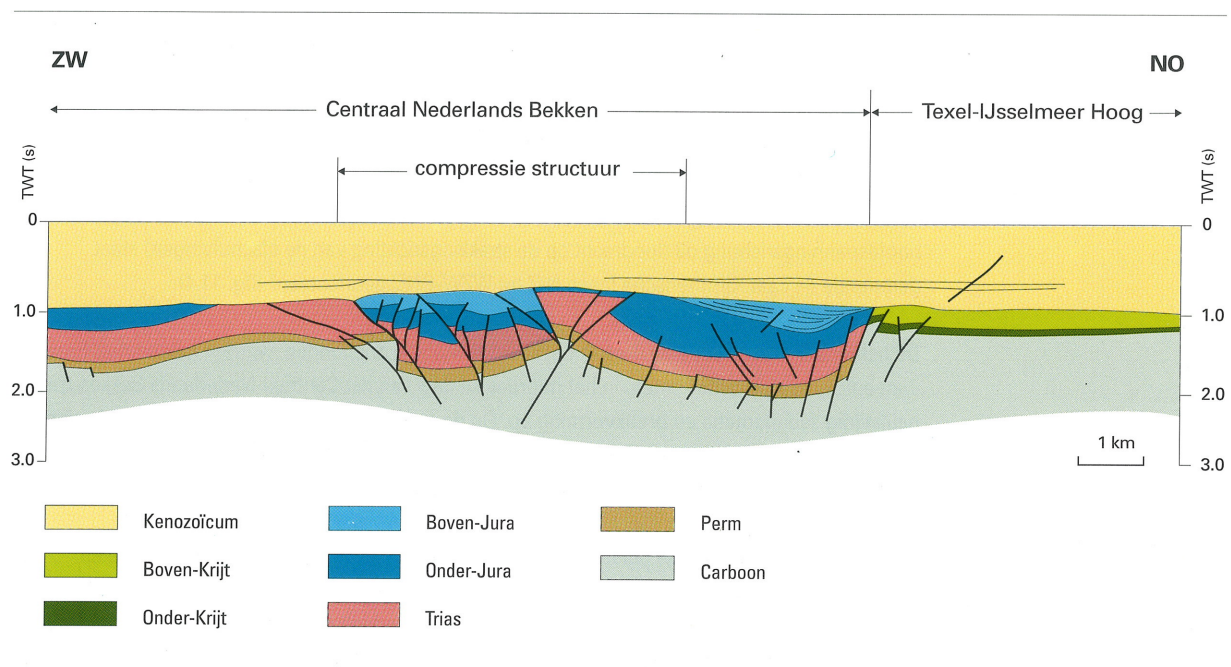
De bekkens die gedurende de Jura in het kaartbladgebied ontstonden, werden gevuld met Boven-Jura en Onder-Krijt sedimenten. In het noordelijke deel van het Centraal-Nederlands Bekken trad gelijktijdig sedimentatie en breukvorming op. Op de seismische lijn van figuur 11.2 is ter hoogte van schotpunt nr. 1500 een eenheid met 'onlap' structuren waargenomen. De afzettingen in deze eenheid zijn waarschijnlijk gedurende de Laat-Jura afgezet.

De extensietektoniek maakte plaats voor compressietektoniek tijdens de Subhercynische en Laramische fasen van het Laat-Krijt. Het Centraal-Nederlands Bekken inverteerde; de breuken waarlangs tijdens de Kimmerische fasen afschuivingen hadden plaatsgevonden werden tijdens de inversie gereactiveerd als opschuivingen (fig. 11.3). In het uiterste zuiden van het kaartblad zijn als gevolg van deze compressieve fase zogenaamde 'pop-up' structuren ontstaan die zich op een seismische sectie als een positieve 'flower-structure' manifesteren (fig. 11.2). De opheffing was in het Centraal-Nederlands Bekken zo groot dat het gehele Boven-Krijt boven de erosiebasis werd geheven en is verdwenen. De breuken, die deze verticale bewegingen hebben teweeg gebracht, hebben in het kaartbladgebied een WNW-OZO trend (fig. 11.4). De maximale hoofdspannings-

richting (σ_1) is tijdens deze compressieve tektonische fase ZZW-NNO georiënteerd. In deze periode heeft in Noordwest-Nederland het Boven-Krijt pakket een geringe plooiing ondergaan waarbij de plooiassen NW-ZO werden georiënteerd.

Post-Laramische breuktektoniek (fig. 11.4) is actief geweest in het oosten en noordoosten van het kaartbladgebied. In dit gebied zijn slenkstructuren gekarteerd die voorkomen in de Tertiaire bedekking van het kaartbladgebied. Ze kunnen zowel toegeschreven worden aan halokinese, als aan bewegingen van gereactiveerde Varistische breukblokken (Rijks Geologische Dienst, 1991b). Bewegingen van het zoutkussen van Dwingeloo hebben bijvoorbeeld aan de westzijde ervan een slenkstructuur doen ontstaan (fig. 11.3). De overige breuken in de Tertiaire bedekking van het kaartbladgebied zijn ontstaan door activering van breukblokken in de diepe ondergrond. Dergelijke breukblokbewegingen hebben in het noordoosten van het kaartbladgebied afschuivingen met een NNW trend gegenereerd (Hantum Slenk). In samenhang met deze afschuivingen worden ten noorden van het kaartbladgebied tijdens het Tertiair dextrale zijschuivende bewegingen van basamentblokken aangenomen (Rijks Geologische Dienst, 1991b).

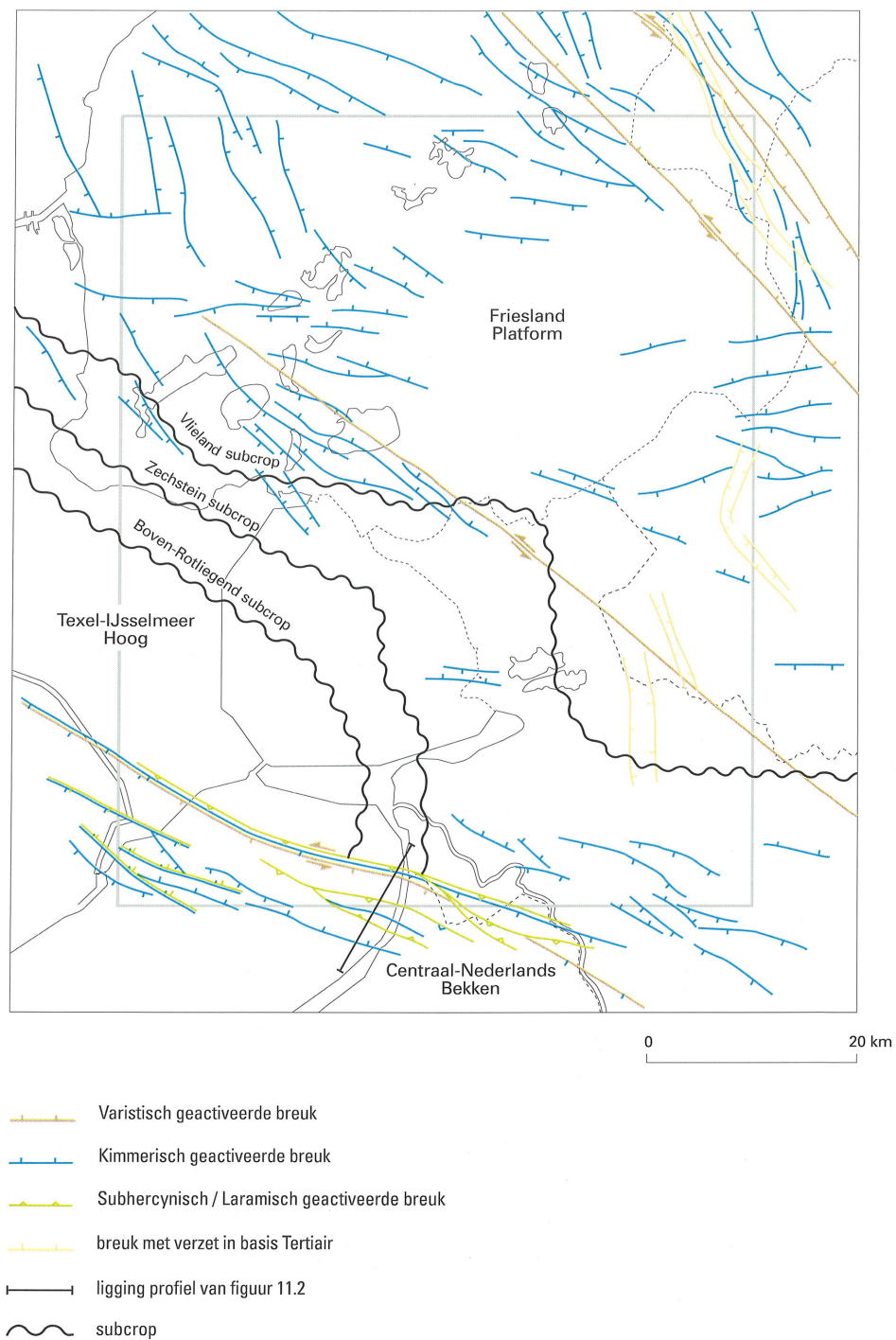
De structurele richtingen van de Varistische, de Kimmerische en de Laramische fasen verschillen weinig van elkaar en vallen zelfs grotendeels samen (fig. 11.4). Dit komt waarschijnlijk doordat tijdens de verschillende tektonische fasen dezelfde basamentblokken gereactiveerd zijn.



Figuur 11.2 Geïnterpreteerd seismisch profiel 813401. De ligging van het profiel staat aangegeven in figuur 11.3. Het profiel toont een Subhercynische/Laramische com-

pressiestructuur ten zuiden van het Texel-IJsselmeer Hoog. In deze sectie is het verzet van de basis van de Zechstein minimaal 1800 m.

Figuur 11.3 Structureel-geologisch overzicht van kaartblad V. De gekarteerde breuken zijn naar tektonische fase gegroepeerd.



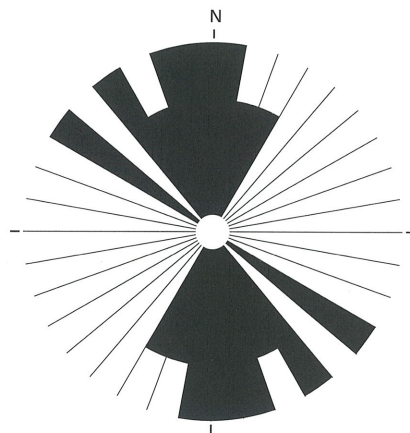
11.3 Geochemische evaluatie en begravingsgeschiedenis.

11.3.1 Algemeen

De begravingsgeschiedenis van een gebied kan gereconstrueerd worden door gemeten inkolingen van organisch materiaal uit sedimenten met theoretisch berekende inkolingswaarden te vergelijken. Dit is gebaseerd op het gegeven dat met toenemende temperatuur de fysisch-chemische samenstelling van organisch materiaal verandert. Deze inkoling van het organisch materiaal is gerelateerd aan de begravingsdiepte. De bereikte inkolingsgraad is afhankelijk van de temperatuur, de duur van de temperatuurinwerking en het type organisch materiaal (Wet van

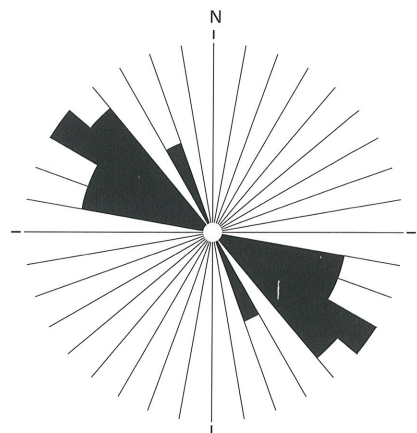
Figuur 11.4 Roosdiagrammen van breukstrekkingen in het kaartbladgebied, gegroepeerd naar tektonische fasen.

A Post-Laramische breuktrend



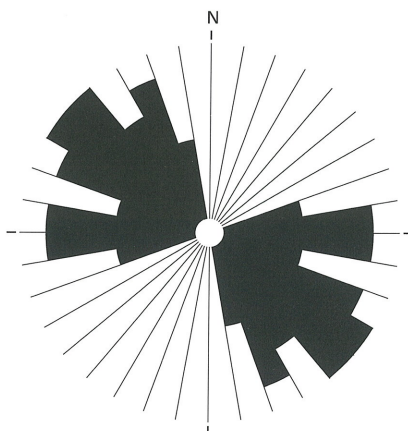
n = 13
gemiddelde vector = 343°
betrouwbaarheidsinterval = 28°

B Laramische breuktrend



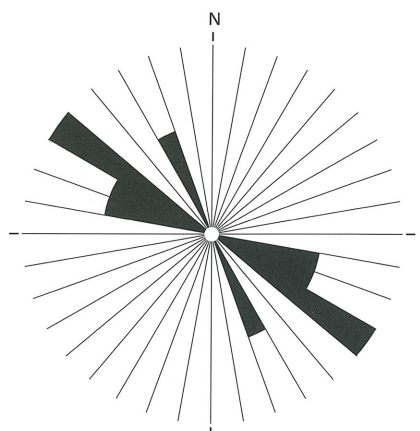
n = 12
gemiddelde vector = 302°
betrouwbaarheidsinterval = 28°

C Kimmerische breuktrend



n = 25
gemiddelde vector = 300°
betrouwbaarheidsinterval = 21°

D Varistische breuktrend



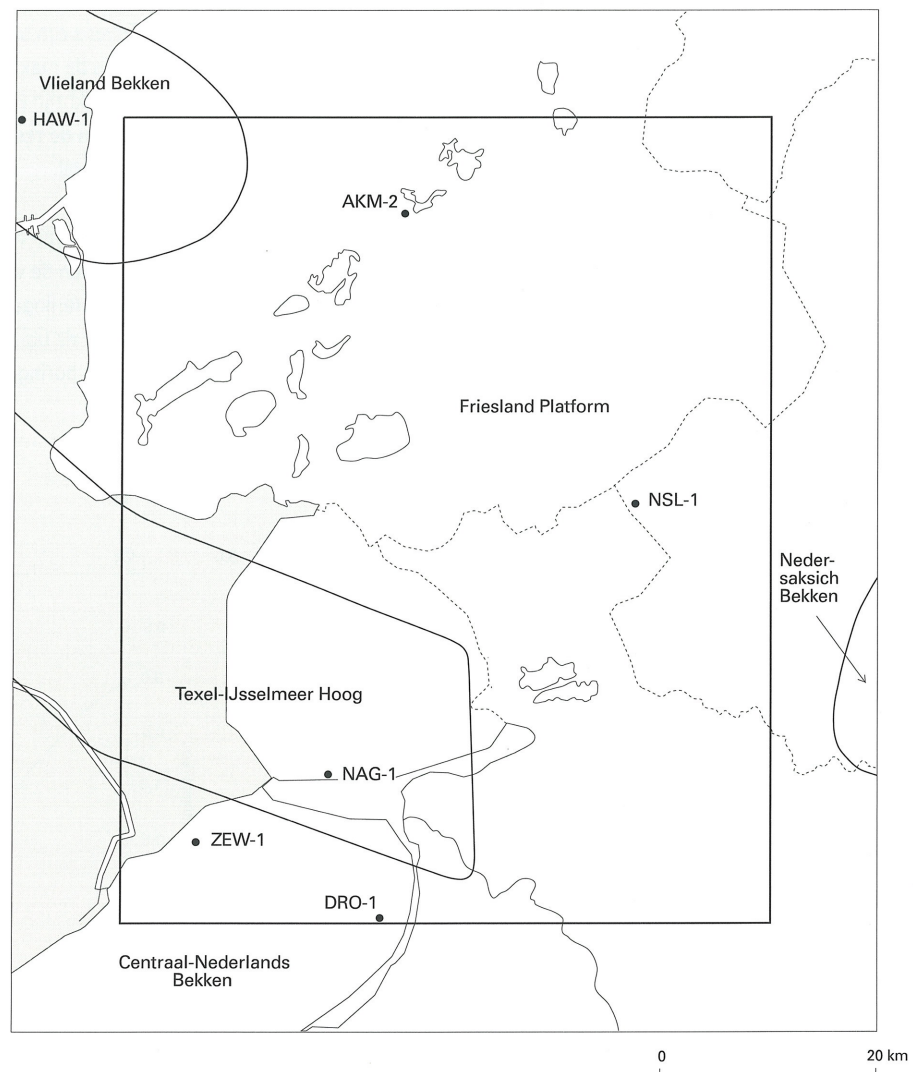
n = 6
gemiddelde vector = 302°
betrouwbaarheidsinterval = 25°

Arrhenius). Ook het reflecterende vermogen van het organisch materiaal verandert met toenemende inkoling. De reflectiewaarde wordt onder standaardomstandigheden gemeten met een reflectiemicroscop en uitgedrukt als percentage van de invallende lichtbundel (vitrinietreflectie %Rm). Voor kolig materiaal (Stach et al., 1982) varieert het reflectievermogen van 0.2% (veen) via 0.6% (bruinkool) tot meer dan 2% (anthraciet).

Voor het ijken van de begravingsgeschiedenis in de geologische modelstudies worden diverse parameters ingevoerd die indirect betrekking hebben op deze tijd-temperatuur relaties.

Stratigrafische en geochronologische gegevens beschrijven de begravingsgeschiedenis van het sedimentpakket. De lithologische gegevens leveren de randvoorwaarden voor compactie, conductiviteit en warmtecapaciteit van een gesteente. Hiermee kan, in combinatie met de paleo-opervlakte temperatuur, de verticale warmtestroom gemodelleerd worden.

Figuur 11.5 Lokatiekaart van gemodelleerde boringen en structurele eenheden.



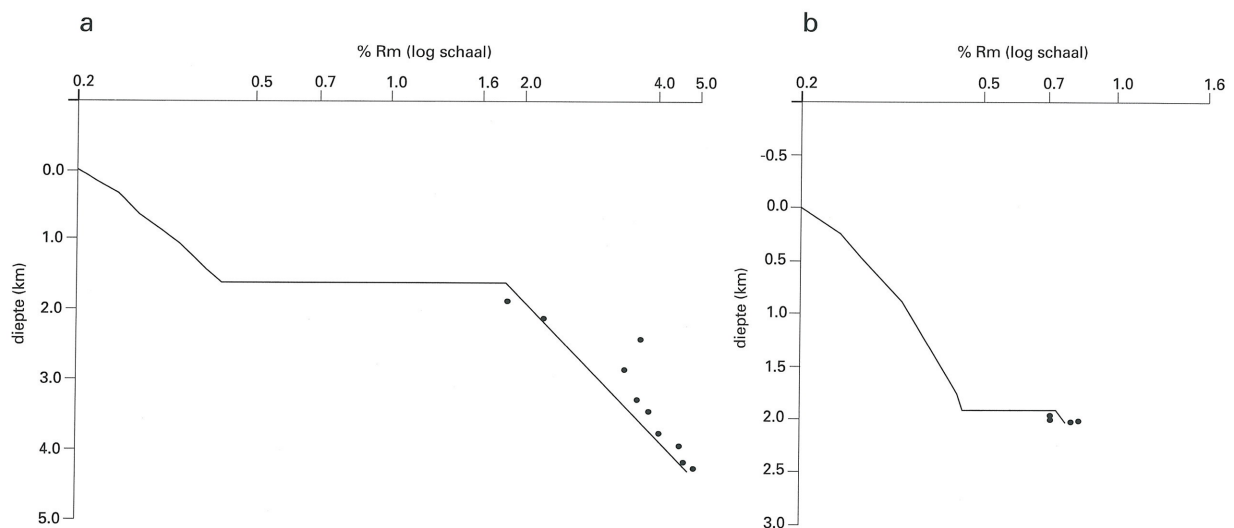
11.3.2 Resultaten

Voor de modellering werden zes boringen geselecteerd (fig. 11.5): Dronten-1, Nagele-1, Nijensleek-1, Oudega-Akkrum-2, West-Harlingen-1 en Zeewolde-1.

Van al deze boringen werd het kolig materiaal van het Carboon (Limburg Groep) onderzocht op reflectiviteit. Daarnaast werden uit de boring Dronten-1, Nijensleek-1 en Oudega-Akkrum-2 de Koperschalie (Zechstein Groep), en uit de boring West-Harlingen-1 het kolig materiaal van de Delfland Formatie (Central Graben Groep) geanalyseerd (RGD, 1993b). De gemeten reflectiewaarden (tabel 2) werden gebruikt als ijkpunten bij de modelstudies. Door variatie van de warmtestroom en de maximale begravingsdiepte werden diverse modellen getest om een optimale correlatie tussen de gemeten en berekende waarden te verkrijgen (fig. 11.6).

In figuur 11.7 zijn de geoptimaliseerde begravingsdiagrammen van twee gemodelleerde boringen weergegeven. De horizontale as representeert de geologische tijdschaal (Harland et al., 1990), de verticale as de begravingsdiepte van de afzettingen. Tevens zijn berekende iso-vitrinit reflectie lijnen in de diagrammen opgenomen. De schattingen van de maximale begravingsdiepte zijn gebaseerd op de algoritmen, die bij de modellering gebruikt zijn (GAPS, 1991). Het ontbreken van organisch materiaal in het tijdsinterval Jura/Krijt bij vijf van de zes boringen laat geen betrouwbare conclusies toe over de bekkenontwikkeling tijdens dit interval.

In figuur 11.8 staan de begravingsdiagrammen van de basis van de Boven-Rotliegend Groep van alle gemodelleerde boringen weergegeven. Hierdoor worden de verschillen in dalingsgeschiedenis tussen de structurele eenheden duidelijk. De boring West-Harlingen-1 geeft de dalingsgeschiedenis weer van het Vlieland Bekken. De dalingsgeschiedenis van de boringen Nijensleek-1 en Oudega-Akkrum-2 representeren die van het Friesland Platform, de boring Nagele-1 die van het Texel-



Figuur 11.6 Correlatie van vitrinitmetingen (ijkpunten) en de gemodelleerde inkolingscurves van twee boringen; zie par. 11.3.2.

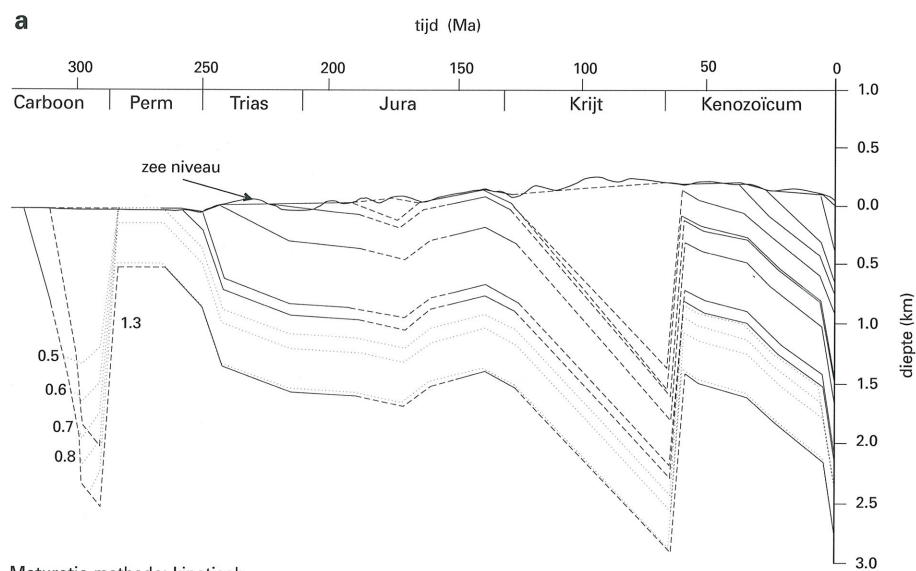
a Nagele-1; model op basis van een warmtestroom van 120 Mw/m² gedurende het Carboon.

b Nijensleek-1; model op basis van een warmtestroom van 80 Mw/m² gedurende het Carboon.

Figuur 11.7 Begravingsdiagrammen en iso-vitrinite reflectie lijnen van twee gemodelleerde boringen in kaartbladgebied V. De regionale inklingssprong die optreedt aan het Saalische discordantievlak (tabel 2) kan slechts verklaard worden bij aanname van een significant pakket geërodeerde Carboon sedimenten. In de boring Oudega-Akkrum-2 treedt inkling van de Koperschalie op gedurende het Kenozoïcum.

a Dronten-1

b Oudega-Akkrum-2

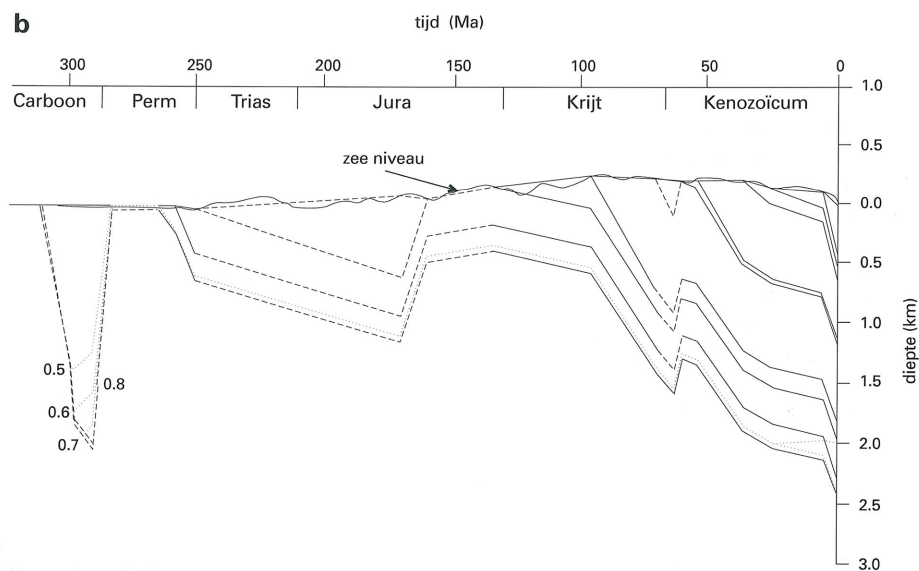


Maturatie methode: kinetisch

— aanwezig sediment

--- hiaat

..... ISO-Ro



Maturatie methode: kinetisch

— aanwezig sediment

--- hiaat

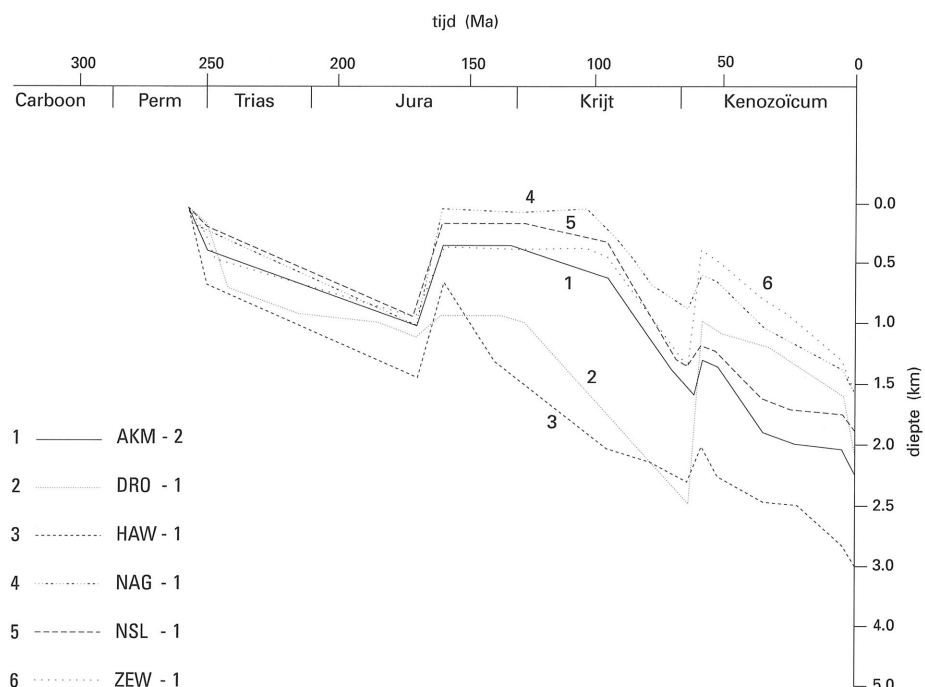
..... ISO-Ro

IJsselmeer Hoog. De boringen Zeewolde-1 en Dronten-1 doen dit voor het Centraal-Nederlands Bekken.

De inkoling van de bovenkant van het Carboon (alle onderzochte boringen zijn Westfalen A gedateerd; fig. 2.2) varieerde aan het begin van het Perm tussen 0.71 %Rm (Nijensleek-1) en 1.85 %Rm (Nagele-1). In het kaartbladgebied komt een goede correlatie tussen berekende en gemeten reflectiewaarden naar voren door een regionale warmtestroom aan te nemen van 75-85 mW/m² bij een dikte van 2000 ± 200 m geërodeerde Boven-Carboon sedimenten. Dit betekent dat het Westfalen- (en eventueel het Stefanien-) pakket in het kaartbladgebied een totale dikte gehad moet hebben van ca. 3000 m. In alle boringen is er gedurende het Laat-Carboon een significante inkoling opgetreden, gevolgd door erosie van verschillende hoeveelheden Westfalen-sediment. Nagele-1 neemt een uitzonderingspositie in. De uit de modelstudie voortvloeiende warmtestroom van 120 mW/m² voor deze boring is uitzonderlijk hoog vergeleken met de omringende boringen en is vermoedelijk gerelateerd aan de in deze boring aangetroffen intrusiva (par. 2.2).

Uit de gemodelleerde inkolingsdata is een inkolingssprong aan het Saalische discordantievlak afgeleid. Deze kan slechts verklaard worden door aanname van erosie van een significant pakket Carboon sedimenten, dat geërodeerd is tijdens de Saalische opheffing. De inkolingssprong is extreem in de boring Nagele-1, maar volgens de modelstudies ook significant in de boring Dronten-1 (fig. 11.7a), Nijensleek-1 en Zeewolde-1. De modelstudies laten zien dat in de boringen Oudega-Akkrum-2 (fig. 11.7b) en West-Harlingen-1 een recente actieve inkoling van post-Carboon sedimenten optreedt waardoor de inkolingssprong aan het Saalische discordantie vlak gereduceerd wordt. Uit de modelstudies komt naar voren dat er geen sprake is van inkoling van post-Carboon gesteenten in het zuidelijk deel van het kaartbladgebied. Het blijkt dat de recente inkoling van post-Carboon gesteenten toeneemt naar het noordwesten.

Figuur 11.8 Begravingssgeschiedenis van de basis van het Rotliegend van alle gemodelleerde boringen. Omdat in de boring Nagele-1 geen Rotliegend aanwezig is, is bij deze boring een fictieve laag van 1 m Rotliegend gemodelleerd. Opvallend in deze figuur is het verschil in aanvang van sedimentatie na de Laat-Kimmerische (Laat-Jura) erosie op de verschillende structurele eenheden.



Tabel 2: Gemeten reflectiewaarden van vitriniet die gebruikt zijn bij de modellering van de begravingsgeschiedenis (RGD, 1993b).

<i>Boring</i>	<i>Diepte (m)</i>	<i>Monster</i>	<i>%Rm</i>
Dronten-1	2186	Koperschalie	0,50
	2393	Limburg	0,87
	2440	Limburg	0,95
	2479	Limburg	1,13
	2526	Limburg	1,11
Nagele-1	1896	Limburg	1,85
	2158	Limburg	2,24
	2412	Limburg	3,68
	2866	Limburg	3,38
	3276	Limburg	3,16
	3416	Limburg	3,84
	3778	Limburg	4,01
	3930	Limburg	4,49
	4170	Limburg	5,41
Nijensleek-1	1927	Koperschalie	0,38
	2012	Limburg	0,71
	2037	Limburg	0,71
	2061	Limburg	0,82
	2070	Limburg	0,79
Oudega-Akkrum-2	2321	Koperschalie	0,56
	2460	Limburg	0,83
West-Harlingen-1	2002	Delfland	0,57
	2029	Delfland	0,45
	2081	Delfland	0,45
	3213	Limburg	0,81
	3286	Limburg	0,78
	3286	Limburg	0,82
	3323	Limburg	0,94
	3326	Limburg	0,83
	3343	Limburg	0,78
Zeewolde-1	1797	Limburg	0,99
	1903	Limburg	1,10
	1975	Limburg	1,14

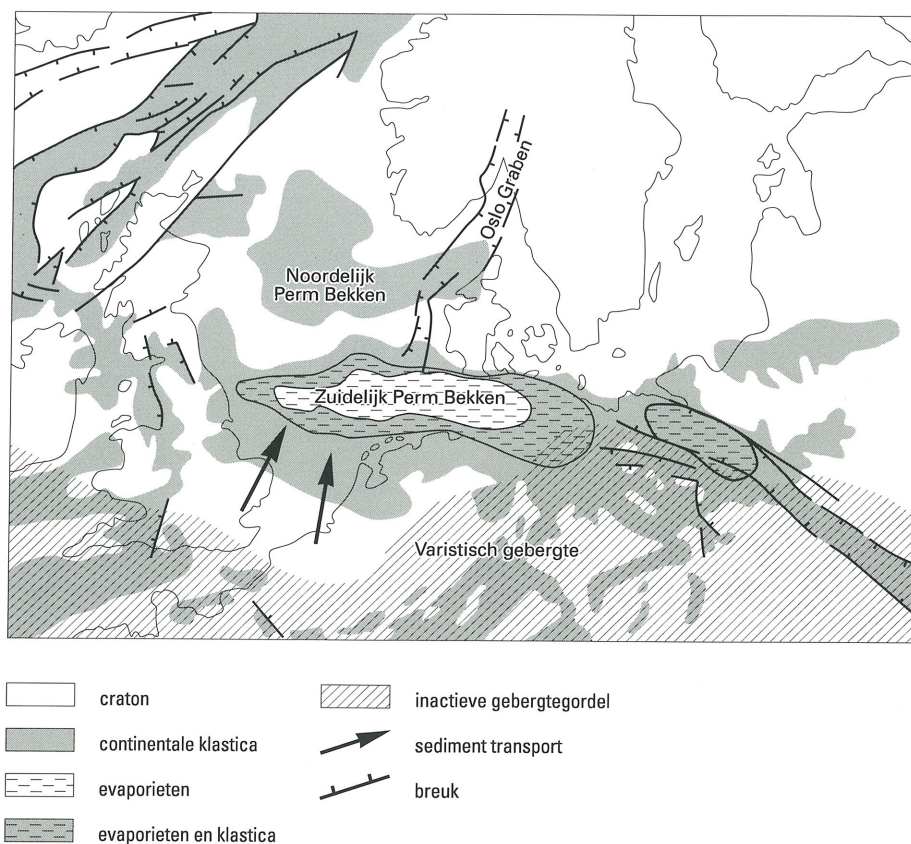
11.4 Bekkenontwikkeling, sedimentatie en tektoniek

11.4.1 Laat-Carboon

De Varistische orogenese, ook wel Hercynische orogenese genoemd, kent drie deformatiefasen in het kaartbladgebied, de Sudetische, de Asturische en de Saalische fase. De orogenese als geheel markeert de sluiting van de proto-Tethys en de vorming van het supercontinent Pangea. Het Noordwest Europese Varistische geosynclinale systeem was actief vanaf het Midden-Devoon tot en met het Laat-Carboon, en werd bepaald door afwisselend compressieve en extensionele tektonische cycli (Ziegler, 1990). Vanaf het Vroeg-Carboon was compressieve tektoniek actief gedurende 45 Ma. Tijdens het Vroeg-Perm liep de Varistische orogenese ten einde.

De Sudetische fase reflecteert de botsing tussen Gondwana en Laurussia. Deze continentbotsing was gekenmerkt door een N-Z gericht compressief krachtenveld en leidde tot de vorming van een O-W verlopende gebergtegordel die zich dwars door Europa uitstrekte van Cornwall tot Polen. Als reactie op de tektonische belasting van de aardkorst, veroorzaakt door de opeenstapeling van Varistische overschuivingen, vormde zich ten noorden van dit gebergte een voorlandbekken. Het kaartbladgebied is binnen dit bekkengebied gelegen en werd met de afbraakprodukten van het zuidelijker gelegen Varistische gebergte gevuld (fig. 11.9). Sedimentatie vond plaats onder overwegend paralistische omstandigheden. Grote gebieden, waaronder het kaartbladgebied, werden gedurende het Carboon overspoeld door transgressies, die veroorzaakt werden door glacio-

Figuur 11.9 Paleogeografie van Noordwest-Europa gedurende het Vroeg-Perm (naar Ziegler, 1982).



eustatische zeespiegelstijgingen (Ziegler, 1990). Tijdens het Westfalien werd de fluviatiele invloed op de sedimentatie geleidelijk groter en werden er meer (rivier-)zanden afgezet. In de tussen de rivieren gelegen gebieden en in de deltavlakten trad op grote schaal veenvorming op.

Tijdens de Asturische fase aan het eind van het Westfalien werden de sedimenten in het voorlandbekken zwak geplooid en ontstonden er O-W gerichte plooien (fig. 2.2). De maximale hoofdspanningsrichting (σ_1) had een N-Z oriëntatie. Deze plooïing was een reactie op bewegingen van breukblokken in het basement (Read & Watson, 1975; Ziegler, 1988). Het kaartbladgebied werd waarschijnlijk al gedurende deze tektonische fase opgeheven en geërodeerd (Bless et al., 1977).

Gedurende de Saalische fase (Laat-Carboon/Vroeg-Perm) veranderde de relatieve bewegingsrichting van de botsende megacontinenten van N-Z in O-W (Ziegler, 1989, 1990). Tijdens deze beweging zijn er in het kaartbladgebied ZW-NO gerichte plooïen ontstaan (fig. 2.2). De plooïestructuren kunnen ontstaan zijn door beweging van oude, NNO-ZZW strekkende, Caledonische breukblokken. Door rotatie van de continenten ontstonden er NW-ZO strekkende zijschuivingen, waardoor o.a. de zuidelijke begrenzing van het Texel-IJsselmeer Hoog gedefinieerd werd (fig. 2.2). Het gehele Laat-Carboon bekken van Noordwest-Europa werd doorsneden door een conjugate set van dextrale en sinistrale schuifzones (Arthaud & Matte, 1975, 1977). Een gabbroïde plutonisch lichaam is waarschijnlijk tijdens deze fase (ca. 300 - 280 Ma) in het gebied van Wanneperveen omhoog gekomen.

Het gebied met aan de top van het Carboon de oudste afzettingen (Westfalien A) wordt beschouwd als voorloper van een structureel element: het Texel-IJsselmeer Hoog. Door reactivering van oude (Varistische) breuken hebben de later ontwikkelde breuken ongeveer dezelfde NW-ZO oriëntatie als het hoog.

11.4.2 Perm

Door erosie als gevolg van de Saalische fase van de Varistische orogenese ontstond tijdens het Vroeg-Perm in Noordwest-Europa een schiervlakte.

Afkoeling van de lithosfeer vanaf het Laat-Perm genereerde een enorm uitgestrekt, relatief laagliggend, intracratonisch bekken: het Permo-Triassische Bekken. Dit bekken strekte zich uit over een groot deel van Noordwest-Europa en werd door het Mid-Noordzee/Ringkøbing-Fyn Hoog verdeeld in het Noordelijk en het Zuidelijk Perm Bekken (fig. 11.9). Aan de zuidrand van het Zuidelijk Perm Bekken ontstond, onder aride condities, een woestijnvlakte. In het kaartbladgebied vormde de voorloper van het Texel-IJsselmeer Hoog een barrière tussen het Zuidelijk Perm Bekken en een subbekken, het Centraal-Nederlands Bekken (fig. 11.1).

Sedimentatie gedurende het Vroeg-Perm begon met fluviatiele en lacustriene afzettingen in de diepere delen van het bekken en met puinwaaierafzettingen langs de bekkenrand. Tijdens het Perm breidde de sedimentatie zich uit over de hoger gelegen delen. Met een cyclische stijging van de waterspiegel in het centrale woestijnmeer breidde het bekken zich uit tot aan de top van het Texel-IJsselmeer Hoog. De reliëfverschillen binnen het kaartbladgebied namen geleidelijk aan af en aan de randen van het Zuidelijke Perm Bekken ontstonden uitgestrekte zandvlaktes. Het zand accumuleerde hier tot opgewaaide zandduinen, onder invloed van het heersende droge klimaat en noordoostelijke passaatwinden (Glennie, 1972, 1983).

In het zuidoosten van het kaartbladgebied bevond zich een NW-ZO verlopende uitloper van het Varistische gebergte (fig. 3.4). Op de flanken hiervan is grofkorrelig en breccieus materiaal

gedeponeerd in de vorm van puinwaaier systemen. Naar het centrum van het bekken zijn conglomeratische inschakelingen opgenomen in de fluviatiele eolische sedimenten. Aan het einde van het Vroeg-Perm was er sprake van een verhoogde aanvoer van grofkorrelig sediment.

Een transgressie aan het begin van het Laat-Perm maakte een eind aan de eolische en fluviatiele sedimentatie in het grootste deel van het kaartbladgebied. Riftvorming in het Noord-Atlantische/Arctische gebied, tezamen met een eustatische zeespiegelstijging als gevolg van deglaciatie van Gondwana, leidde namelijk tot een open verbinding tussen de in het noorden gelegen Barentsz Zee en het continentale Permo-Triassische Bekken (Ziegler, 1987).

Met het einde van de continentale sedimentatie in het kaartbladgebied begon de afzetting van de Zechstein evaporietcycli. Cyclische, glacio-eustatische zeespiegelschommelingen leidden in het kaartbladgebied tot een viertal evaporiet-cycli. Door indamping nam de saliniteit toe en konden de minder oplosbare zouten neerslaan. Bekkendaling bleef voortduren, terwijl synsedimentaire breuken een belangrijke invloed hadden op de dikte-ontwikkeling van de evaporieten en op de paleogeografie van het noorden van Nederland.

Gedurende het Laat-Perm waren er geprononceerde verschillen in bekkendaling in het kaartbladgebied, die goed tot uiting komen in de faciesontwikkeling van de Zechstein Groep. In de diepe delen van het bekken werden evaporieten afgezet. De dikte in het noordoosten van het kaartbladgebied duidt op een grotere daling aldaar dan in het westelijk en centrale deel van het kaartbladgebied. In het zuidwesten en het noorden van het kaartbladgebied wijst de diktetoename (Kaart 4) en de paleogeografie op sterke, synsedimentaire breukbewegingen (fig. 4.1). Uit de verbreidingskaarten van de zoutafzettingen blijkt tevens dat tijdens diverse perioden van het Laat-Perm de saliniteiten in het Centraal-Nederlands Bekken, in het uiterste zuidwesten van het kaartbladgebied, en het hoofdbekken verschillend waren. Het Texel-IJsselmeer Hoog daalde slechts in geringe mate en werd alleen tijdens perioden van hoge waterstand met water bedekt. In ondiep water is op en rond dit paleohoog veel anhydriet afgezet (fig. 4.1 & 4.3). Het Centraal-Nederlands Bekken bevond zich onder de invloed van een continentaal afzettingssmilieu, dat zich verder naar het zuiden steeds sterker deed gelden (Plomp & Geluk, 1988; Rijks Geologische Dienst, 1993a).

De verschillen in bekkendaling tussen het Centraal-Nederlands Bekken en het hoofdbekken werd gedurende het Laat-Perm steeds kleiner. Dit kan worden geconcludeerd uit de toenemende uniformiteit in facies en de afnemende verschillen in dikte van de afzettingen. De synsedimentaire breukbewegingen waren voor aanvang van de Trias bijna geheel tot rust gekomen. Aan het eind van het Perm en tijdens de vroegste Trias speelden het Texel-IJsselmeer Hoog en de zuidelijk en noordelijk ervan gelegen bekkens als zodanig geen rol meer. De reliëfverschillen in het kaartbladgebied waren zo goed als verdwenen. De laatste indampingscyclus in het kaartbladgebied resulteerde uiteindelijk in de overgang van een beperkt marien naar een continentaal bekken.

11.4.3 Trias

De ontwikkeling van de afzettingen van Scythien ouderdom wijst op een gelijkmatige en grootschalige bekkendaling en op de afwezigheid van enig substantieel reliëf. De aanvoer vond plaats vanuit zuidelijke richting en de sedimenten werden afgezet in een fluviatiel en lacustrien milieu, met beperkte mariene invloeden. De sedimenten vertonen een cyclische opbouw, die hoogst-waarschijnlijk kan worden toegeschreven aan variaties in de neerslag. In samenhang hiermee traden periodieke veranderingen op in de aanvoer van grofklastisch materiaal, dat over

een stromingsvlakte naar een groot continentaal meer (in het centrum van het Permo-Triassische Bekken) werd getransporteerd.

Het uniforme dalingspatroon eindigde nog tijdens het Scythien. Extensionele tektonische bewegingen accentueerden de NNO-ZZW verlopende structuren van het Off-Holland Low en het Eems Diep. Tussen deze twee dalingsgebieden ontstond een opwelling, de Netherlands Swell (fig. 11.1). De geologische expressie van dit hoog wordt echter overschaduwd door erosie van latere Kimmerische erosie op het Texel-IJsselmeer Hoog en het Friesland Platform. De Netherlands Swell correspondeert in het kaartbladgebied gedeeltelijk met het zich NW-ZO uitstrekkende Texel-IJsselmeer Hoog (fig. 11.1). De Hoofd-Bontzandsteen Formatie werd voornamelijk in het Off-Holland Low en het Ems Diep (fig. 11.1) afgezet, terwijl op de Netherlands Swell slechts een dunne en niet complete opeenvolging werd opgebouwd (RGD, 1989). Bij lage waterstand domineerden verwilderde rivieren het sedimentaire patroon, terwijl tijdens perioden van hoge waterstand lacustriene omstandigheden prevaleerden. Bij hoge waterstand vond afzetting van playa-kleien en -siltten plaats. Een combinatie van eustatische zeespiegeldaling en epeirogene opheffing, de Hardegse tektonische gebeurtenis, leidde aan het einde van het Scythien tot een regionale discordantie (Basis Solling Discordantie). Erosie als gevolg van de Hardegse tektonische activiteit had op de Netherlands Swell afwezigheid van Hoofd-Bontzandsteen tot gevolg.

Een nieuwe transgressie tijdens het Anisien bracht de zee terug in het kaartbladgebied en had afzetting van Röt-evaporieten in het Centraal-Nederlands Bekken tot gevolg. Gedurende het Vroeg-Ladinien zette de transgressie door en leidde tot de afzetting van ondiep-water carbonaten (Onder-Muschelkalk) en steenzout (Muschelkalk Evaporiet) in het Centraal-Nederlands Bekken. Na deze transgressie nam de aanvoer van klastisch sediment weer toe en werden in het kaartbladgebied kleien en mergels afgezet.

Een regressie aan het begin van de Laat-Trias (Carnien) beëindigde de mariene sedimentatie in het Permo-Triassische Bekken. In en rondom het kaartbladgebied ontstond een complex van lagunes, sabkha's en getijddevlaktes. Het grootste deel van het kaartbladgebied vormde ook tijdens het Carnien en het Norien een relatief hoog (Netherlands Swell). Deze situatie met een relatief lage zeespiegelstand leidde tot de onderbreking van de sedimentatie aan het einde van het Norien.

De Vroeg-Kimmerische fase was actief vanaf het begin van het Rhaetien en is in het kaartbladgebied van weinig breuktektonische betekenis geweest. In het oosten van Nederland en in Duitsland waren de gevolgen van deze fase veel groter (Haanstra, 1963a; Schröder, 1982). De Vroeg-Kimmerische fase ging gepaard met een extensioneel spanningsregime die in het gebied van Wanneperveen tot de intrusie van enige dolerieten leidde.

11.4.4 Jura

Aan het einde van de Trias werd de desintegratie van Pangea in gang gezet en deze zette zich gedurende de Jura voort. Van dit proces zijn een aantal fasen te onderscheiden: de Vroeg-Kimmerische (Laat-Trias), de Mid-Kimmerische (Midden-Jura) en de Laat-Kimmerische fase (Laat-Jura). De Laat-Kimmerische I en II pulsen zijn om praktische redenen gerelateerd aan de belangrijkste onderbrekingen in de stratigrafische opeenvolging: resp. basis 'Boven-Jura' Groep en basis Vlieland Formatie. In werkelijkheid is de scheiding tussen deze pulsen in de tijd niet zo scherp te definiëren (Stille, 1924; Heybroek, 1974; Ziegler, 1978, 1982). De Kimmerische fase was actief in geheel Noordwest-Europa en bestond uit een aantal grootschalige extensiepulsen, die de geologische ontwikkeling van het kaartbladgebied voor een groot deel hebben bepaald.

De extensietektoniek van de Vroeg-Kimmerische fase kan het best beschreven worden als 'regionale extensie'. De term regionale extensie is hier gekozen omdat er gedurende het Vroeg-Jura sprake was van een gelijkmatige regionale bekkendaling. Dit in tegenstelling tot de extensietektoniek van de Laat-Kimmerische fase die het best gekarakteriseerd kan worden door de term 'lokale extensie'. Gedurende deze fase trad er eveneens bekkendaling op, maar deze had een meer plaatselijk karakter en werd door breukbewegingen gecontroleerd.

Tijdens de Kimmerische fasen kwamen langs de zuidelijke randbreukzone van het Texel-IJsselmeer Hoog afschuivingen voor met een mogelijke zijschuivingscomponent. Deze extensionele bewegingen waren de manifestaties aan de oppervlakte van grootschalige (listrische) breuken, die zich waarschijnlijk op grote dieptes voortzette tot in de onderkorst. Dergelijke bewegingen verliepen in het uiterste zuiden, en direct ten zuiden van het kaartbladgebied langs breuken met een WNW-OZO trend.

De huidige verbreiding van de Onder-Jura sedimenten is beperkt tot de verschillende Laat-Jura bekkens (fig. 7.1). De grote mate van uniformiteit in de lithologie maakt het zeer aannemelijk dat de mariene sedimenten in een oorspronkelijk aaneengesloten bekken zijn afgezet. De sedimenten van het Toarcien (Posidonia Schalie) indiceren een euxinisch milieu als gevolg van beperkte of stagnerende zeewatercirculatie.

De Midden-Jura sedimenten komen niet voor op het Noord-Nederland Hoog, maar wel in het Nedersaksisch Bekken en het West-Nederlands Bekken. Sedimentatie beperkte zich in toenemende mate tot de dieper gelegen bekkendelen (Betz et al., 1987; Van Wijhe, 1987a, 1987b). De Mid-Kimmerische fase vond plaats aan het begin van de Midden-Jura. Het effect daarvan is in het kaartbladgebied niet meer na te gaan omdat de Laat-Kimmerische erosie in het kaartbladgebied even diep of dieper heeft ingesneden. De afwisseling van carbonaten en fijnkorrelige klastische sedimenten in het Nedersaksisch en het West-Nederlands Bekken wijst op een relatief ondiep marien milieu.

De Laat-Kimmerische tektonische fase leidde tot de vorming van het Vlieland Bekken, en tot de hernieuwde daling van het Centraal-Nederlands Bekken en het Nedersaksisch Bekken. Tijdens een regionale zeespiegeldaling in het Oxfordien kwamen zeer waarschijnlijk grote delen van het kaartbladgebied boven water te liggen (Texel-IJsselmeer Hoog en het Friesland Platform).

Buiten de bekkens leidden de Laat-Kimmerische pulsen tot een sterke opheffing en diep insnijdende erosie op de kruin van het Texel-IJsselmeer Hoog tot in het Carboon. Het Texel-IJsselmeer Hoog was met een lichte helling naar het NNO gekanteld (Kaart 16 & 18, profiel 2).

Vanaf het Laat-Kimmeridgien accumuleerde in het Vlieland Bekken de Delfland Formatie, bestaande uit de erosieprodukten van de omliggende hogen. Dit gebeurde in een overwegend lacustrien afzettingmilieu. Meer continentale omstandigheden deden zich later, gedurende het Ryazanien, voor. Tijdens deze periode vormde zich in de bekkens veen, als gevolg van stagnatie van de afwatering.

De Boven-Jura afzettingen zijn in het Vlieland Bekken en in het Centraal-Nederlands Bekken afgezet onder lacustriene en fluviatile omstandigheden, terwijl in het Nedersaksisch Bekken, in beperkte mate, ondiep mariene omstandigheden heersten. Het kalkige karakter van de Boven-Jura afzettingen in het Centraal-Nederlands Bekken zou kunnen wijzen op het bestaan van een verbinding met het Nedersaksisch Bekken.

Aan het eind van de Jura en in het begin van het Krijt beperkte de sedimentatie zich tot de diepere bekkendelen die net buiten het kaartbladgebied liggen. De effecten van de verschillende Laat-Kimmerische fasen zijn moeilijk van elkaar te scheiden en kunnen slechts per bekken worden bestudeerd. Sedimentatie in het Vlieland Bekken en het Nedersaksisch Bekken begon al in het Kimmeridgien; sedimentatie in het Centraal-Nederlands Bekken begon wat later, gedurende het Portlandien.

11.4.5 Krijt

In het Vroeg-Krijt maakten de differentiële bekkenbewegingen van de Jura plaats voor een periode van relatieve tektonische rust. Isostatische compensatie volgend op de Jurassische tektonische opheffing leidde tot regionale bodemdaling. Onafhankelijk daarvan begon in het Valanginien een nieuwe eustatische transgressieve fase. Uiteindelijk overspoelde de zee ook de hoge structuren binnen het kaartbladgebied. De transgressie duurde voort tijdens het Laat-Krijt waardoor het open mariene afzettingsmilieu in het gehele kaartbladgebied gehandhaafd bleef. Vanaf het Hauterivien is in het studiegebied de Krijt serie afgezet in een marien milieu. De geleidelijke stijging van de zeespiegel werd slechts onderbroken door enkele kortstondige regressies.

In het Vlieland Bekken en het Nedersaksisch Bekken begon de sedimentatie in het Valanginien, terwijl de transgressie westelijk om het Texel-IJsselmeer Hoog heen pas in het Hauterivien het Centraal-Nederlands Bekken bereikte. Sedimentatie vond plaats in een ondiep marien milieu (Perrot & Van der Poel, 1987). De transgressie in het Vlieland Bekken kwam vanuit het noorden, terwijl in het Nedersaksisch Bekken de stijgende zeewaterspiegel gevoed werd vanuit het oosten (Ziegler, 1990). De verbinding tussen deze twee bekkens (fig. 8.2) kwam tot stand in het Laat-Hauterivien. In een relatief smalle zone, een 'corridor', werden zeer kustnabij zanden en kleien afgezet. Het zandige sediment werd tevens aangevoerd door fluviatiele puinwaaier systemen, die in zee uitmondden. Het brongebied voor de Vlieland Zandsteen was het Texel-IJsselmeer Hoog, waar als gevolg van Kimmerische opheffing uiteindelijk zelfs de Slochteren Zandsteen (Boven-Rotliegend) boven de erosiebasis lag. Omdat het reliëf tijdens de Kimmerische fasen was afgevlakt, hadden zelfs kleine eustatische zeespiegelbewegingen grote invloed op de verbreiding van de zee. Gedurende het Barremien werd in het kaartbladgebied voornamelijk klei afgezet.

Tijdens het Aptien en het Albien zette de sedimentatie in het kaartbladgebied zich voort en werd slechts onderbroken als gevolg van enkele eustatische zeespiegelfluctuaties. Hierdoor komen op het Friesland Platform enkele intraformationele hiaten in het hogere Onder-Krijt voor. De transgressie zette pas aan het begin van het Aptien het grootste deel van het kaartbladgebied onder water, terwijl het Texel-IJsselmeer Hoog pas in het Laat-Albien werd overspoeld (fig. 8.2).

De kustlijn lag gedurende het Albien meer dan honderd kilometer verder naar het zuiden. Het aandeel van terrigeen, klastisch materiaal was hierdoor geleidelijk afgenomen, waardoor de Boven-Krijt afzettingen voornamelijk uit mariene bioklasten zijn opgebouwd.

In het Cenomanien kunnen binnen het kaartbladgebied geen aparte bekkens worden onderscheiden. Het mergelpakket, dat gedurende deze periode is afgezet, heeft in het kaartbladgebied een constante dikte. De over het algemeen goed correleerbare schalielaag aan de top van de Texel Formatie (Plenus Mergel) is in het kaartbladgebied slecht ontwikkeld. Het zuiden van het kaartbladgebied lijkt in het Turonien en het Coniacien sneller te zijn gedaald. De grote dikte van het Turonien en het Coniacien sedimentpakket is te zien in het dikteprofiel van de Krijtkalk Groep (fig. 9.1). Dit wordt ten westen van het kaartbladgebied eveneens waargenomen (Rijks Geologische Dienst, 1993a).

Een aantal bekken in Noordwest-Europa raakte geïnverteerd in het Laat-Krijt. Ziegler (1982) legt de oorzaak van de inversie bij de botsing van het Afrikaanse met het Europese continent en een daardoor gegenereerd compressief spanningsveld, dat zich in het Laat-Krijt over grote delen van het Alpiene voorland (Noordwest-Europa) uitbreidde. Alhoewel het orogene front meer dan 1000 km naar het zuiden was gelegen, vallen de tektonische fasen van de Alpiene orogenese samen met de tektonisch actieve perioden in Noordwest-Europa. De inversie voltrok zich in Noordwest Europa gedurende een tweetal fasen: de Subhercynische (gedurende het Santonien en Campanien) en de Laramische fase (gedurende het Laat-Krijt/Vroeg-Tertiair). Voor wat het studiegebied betreft resulteerde de compressie in de opheffing van het Vlieland Bekken (Rijks Geologische Dienst, 1991a), het Nedersaksisch Bekken en het Centraal-Nederlands Bekken (Betz et al., 1987).

Tektonische opheffing en scheefstelling begon in het Vlieland Bekken gedurende de Subhercynische fase. Aanwijzingen hiervoor zijn intraformationele hiaten en hoekdiscordanties (Rijks Geologische Dienst, 1991a). Sedimentatie vond plaats gedurende alle Laat-Krijt etages en de afzettingen werden, in tegenstelling tot de sedimentatie op de relatief hoge (niet-geïnverteerde) gebieden, gecondenseerd afgezet. Het Krijtkalk pakket in het Vlieland Bekken werd gecondenseerd afgezet ten opzichte van dezelfde sedimentaire serie op het Friesland Platform en het Texel-IJsselmeer Hoog (Rijks Geologische Dienst, 1991a, 1991b).

De relatief grote dikte van het Santonien en Campanien direct ten noorden van het Centraal-Nederlands Bekken, maakt het aannemelijk dat inversie in het noordelijk deel van het Centraal-Nederlands Bekken voornamelijk heeft plaats gevonden tijdens de Laramische tektonische fase. Onder invloed van compressieve spanningen van de inversie werd de zuidelijke randbreukzone van het Texel-IJsselmeer Hoog gereactiveerd en het gebied ten zuiden ervan (het Centraal-Nederlands Bekken) sterk opgeheven. Direct ten zuiden van deze randbreukzone zijn, tijdens deze compressieve fase, opschuivings-structuren ontstaan (fig. 11.2). Ten zuiden van de randbreukzone is de gehele opeenvolging van het Boven-Krijt verdwenen door erosie.

De inversie had weinig invloed op het centrale deel van het kaartbladgebied. Op de diktekaart van de Ommelanden Krijtkalk Formatie (fig. 9.2) representeert dit gebied een zadelstructuur. Ten oosten van dit zadel ligt de westelijke uitloper van het Nedersaksisch Bekken. In dit bekken begon de inversie al tijdens het Turonien en het Coniacien (Betz et al., 1987; Baldschun et al., 1991).

In het Centraal-Nederlands Bekken sneed de erosie als gevolg van de Laramische tektonische fase veelal in tot in de Onder-Jura en de Trias, lokaal zelfs tot in het Perm en het Boven-Carboon. De opheffing varieerde van ca. 1400 m (Noordzee Supergroep discordant op Delfland) tot ca. 2000 m (Noordzee Supergroep discordant op de Germaanse Trias Groepen, de Zechstein en de Rotliegend Groep; Kaart 17).

De Kimmerische fase gedurende de Jura, de Subhercynische fase gedurende het Laat-Krijt en de Laramische fase in het Vroeg-Tertiair behoren, samen met de Pyreneïsche (Eoceen/Oligoceen) en de Savische fase (Mioceen), tot de Vroeg- en Midden-Alpiene orogene fasen.

11.4.6 Kenozoïcum

Aan het begin van het Tertiair vormde zich het Noordzee Bekken, dat tot op heden de sedimentatiepatronen beïnvloedt (fig. 10.3). De sedimenten bestaan voornamelijk uit erosieproducten van de in het Laat-Krijt en Vroeg Tertiair opgeheven gebieden. Bij sterke relatieve zeespiegeldaling onstonden er tevens hiaten in de sedimentaire opeenvolging. De relatieve

zeespiegeldaling in het Laat-Eoceen/Vroeg-Oligoceen wordt aan de Pyreneïsche tektonische fase gerelateerd. Het hiaat van het Vroeg-Mioceen is aan de Savische tektonische fase gekoppeld.

Gedurende het Tertiair en het Kwartair nam de dalingssnelheid van het Noordzee Bekken spectaculair toe en in het centrum van het bekken werd in ca. 60 miljoen jaar meer dan 3000 m sediment afgezet. Het kaartbladgebied bevindt zich aan de zuidelijke rand van het Noordzee Bekken. Hier varieert de dikte van het sedimentpakket van ca. 600 m in het oosten tot ca. 1300 m in het zuidwesten.

Vroeg-Tertiaire halokinetische bewegingen genereerden zoutstructuren in het oosten en het noordoosten van het kaartbladgebied. Bij de Hantum Breuk, in het noordoosten van het kaartbladgebied, is een kussenstructuur aanwezig. De Hantum Breuk is actief geweest van het Paleoceen tot aan het eind van het Mioceen en heeft een grote slenkstructuur gevormd. Deze is ontstaan als gevolg van een combinatie van zoutvloed en reactivatie van breuken in het basement (Rijks Geologische Dienst, 1991b; Richards, 1991). De zuidelijke uitloper van deze structuur loopt door tot in het uiterste noordoosten van het kaartbladgebied.

Aanvoer van klastisch materiaal in het Paleoceen verdrong de overwegend bioklastische sedimentatie van het Laat-Krijt in het kaartbladgebied; kleien werden afgezet tijdens transgressies en zanden tijdens regressies. Eocene sedimenten zijn in het oosten van het land lokaal afwezig door zoutbewegingen die voornamelijk hebben plaatsgevonden gedurende het Paleoceen en het Eoceen. De bekkenrand lag op enkele honderden kilometers ten zuiden van het kaartbladgebied.

Door Laat-Eocene compressie (Pyreneïsche fase) werd het voormalige Centraal-Nederlands Bekken en het oostelijk deel van Nederland opgeheven. Het is zeer waarschijnlijk dat gedurende deze beweging een oud breuksysteem werd gereactiveerd. Alpiene inversie-tektoniek speelde nog een rol tot aan het eind van het Eoceen (Pyreneïsche fase), zoals blijkt uit de opwelling en de gehele of gedeeltelijke erosie van de formaties van Landen en Dongen in het Centraal-Nederlands Bekken (fig. 10.2).

Gedurende het Oligoceen vond sedimentatie plaats in een uniform dalend bekken. Als gevolg van de Savische tektonische fase in het noorden en oosten van het kaartbladgebied vonden opnieuw opheffing en erosie plaats. In het Mioceen vormde zich in het zuidwesten van het kaartbladgebied een nieuw bekken, het Zuiderzee Diep (fig. 11.1). Tijdens het Midden- en Laat-Mioceen trad hier sterke daling op (Zagwijn, 1989), waardoor het kaartbladgebied in een open marien bereik kwam te liggen. Het Zuiderzee Diep maakte deel uit van het Kenozoïsche riftsysteem dat zich verder naar het zuiden in de Roerdal Slenk en naar het noorden in het Noordzee Bekken voortzet (Fuchs et al., 1983; Zagwijn, 1989).

Het open mariene milieu handhaafde zich tot in het Plioceen, waarna een regressieve zeespiegelbeweging plaats vond. De kustlijn, die voorheen in het oosten en het zuiden lag, migreerde naar het westen en het noorden, terwijl sedimentatie plaats vond in een zeer ondiep marien milieu.

In het Kwartair vond een aanzienlijke bekkendaling plaats in het zuidwesten en westen van het kaartbladgebied, met name in het Zuiderzee Diep. Gedurende een belangrijk deel van het Kwartair werden er in het kaartbladgebied continentale sedimenten afgezet.

Appendices

Appendix A

Overzicht gebruikte seismiek

<i>Survey</i>	<i>Jaar</i>	<i>Eigenaar</i>
30**	1961	NAM
7050**	1970	NAM
7150**	1971	NAM
7170**	1971	NAM
7250**	1972	NAM
7270**	1972	NAM
7271**	1972	NAM
7311**	1973	NAM
7411**	1974	NAM
7514**	1975	NAM
76-**	1976	Chevron
77-**	1977	Chevron
78-**	1978	Chevron
79-**	1979	Chevron
7911**	1979	NAM
8021**	1980	NAM
8030**	1980	NAM
8042**	1980	NAM
8132**	1981	NAM
8134**	1981	NAM
8232**	1982	NAM
8234**	1982	NAM
8260**	1982	NAM
82-**	1982	Chevron
84-*	1984	Chevron
8420**	1984	NAM
9030**	1973	NAM
ANE79-2**	1979	Amoco
ANE80-2**	1980	Amoco
FR-***	1964	Elf Petroland
FR75-**	1975	Elf Petroland
FR76-**	1976	Elf Petroland
FR77-**	1977	Elf Petroland
FR78-**	1978	Elf Petroland
FR80-**	1980	Elf Petroland
FR81-**	1981	Elf Petroland
FR83-**	1983	Elf Petroland
FR83-HR**	1983	Elf Petroland
GK78-**	1978	Elf Petroland
GK80-**	1980	Elf Petroland
GK81-**	1981	Elf Petroland
GK84-**	1984	Elf Petroland
SU-**	1966	Chevron
Y-5**	1968	Chevron

*/**/*** staan voor specifieke lijnnummers

Appendix B

Overzicht gebruikte boringen¹

<i>No.</i>	<i>Naam boring</i>	<i>Code</i>	<i>Eigenaar</i>	<i>Einddiepte</i>	<i>Jaar</i>
1	Allardsoog-1	ALO-1	NAM	3180	1984
2	Appelscha-1	APS-1	NAM	3000	1971
3	Boerakker-1	BRA-1	NAM	3262	1984
4	Bolsward-1	BWD-1	NAM	2679	1971
5	Bozum-1	BOZ-1	Elf Petr.	1963	1982
6	Diever-1	DIV-1	NAM	2260	1961
7	Doornspijk-1	DSP-1	NAM	2406	1964
8	Doornspijk-2	DSP-2	NAM	1832	1966
9	Dronrijp-1	DRP-1	Elf Petr.	3019	1984
10	Dronten-1	DRO-1	Conoco	2532	1965
11	Dwingelo-1	DWL-1	NAM	938	1949
12	Dwingelo-2	DWL-2	NAM	3797	1955
13	Eernewoude-1	ERW-1	Elf Petr.	2479	1965
14	Emmeloord-1	EMO-1	Elf Petr.	2548	1969
	Ermelo-1	ERM-1	NAM	2650	1969
15	Gorredijk-1	GRD-1	Chevron	2292	1971
16	Groote gast-102	GGT-102	NAM	3244	1976
17	Harlingen-1	HRL-1	Elf Petr.	3103	1965
18	Harlingen-2	HRL-2	Elf Petr.	1870	1965
19	Harlingen-3	HRL-3	Elf Petr.	2003	1965
20	Harlingen-6	HRL-6	Elf Petr.	1117	1985
21	Heegermeer-1	HGM-1	Chevron	2144	1973
22	Hessum-1	HES-1	Conoco	2223	1968
23	Hijken-1	HIJ-1	Elf Petr.	1925	1965
	IJsselmeer-1	IJM-1	Superior	2892	1966
24	Kampen-1	KAM-1	Chevron	2154	1969
25	Knardijk-1	KRD-1	Amoco	1524	1978
26	Langenholte-1	LNH-1	NAM	2386	1977
27	Leeuwarden-1	LEW-1	Elf Petr.	1971	1968
28	Leeuwarden-2	LEW-2	Elf Petr.	1947	1968
29	Leeuwarden-3	LEW-3	Elf Petr.	1973	1968
30	Leeuwarden-4	LEW-4	Elf Petr.	1952	1969
31	Leeuwarden-6	LEW-6	Elf Petr.	1956	1969
32	Leeuwarden-7	LEW-7	Elf Petr.	1952	1970
33	Leeuwarden-9	LEW-9	Elf Petr.	2440	1969
34	Leeuwarden-12	LEW-12	Elf Petr.	1950	1980
35	Leeuwarden-13	LEW-13	Elf Petr.	2137	1981
36	Lelystad-1	LEL-1	Conoco	2057	1970
37	Marum-2	MAR-2	NAM	2737	1978
38	Marumerlage-1	MAL-1	NAM	3152	1984
39	Middelburen-1	MBN-1	Elf Petr.	2690	1979
40	Nagele-1	NAG-1	Elf Petr.	4304	1970

wordt vervolgd op pag. 107

Vervolg Appendix B

<i>No.</i>	<i>Naam boring</i>	<i>Code</i>	<i>Eigenaar</i>	<i>Einddiepte</i>	<i>Jaar</i>
41	Nijega-1	NGA-1	Elf Petr.	2500	1965
42	Nijega-7	NGA-7	Elf Petr.	1937	1978
43	Nijega-9	NGA-9	Elf Petr.	2180	1982
44	Nijensleek-1	NSL-1	NAM	2327	1987
45	Nijlamer-1	NLM-1	NAM	2055	1972
46	Noord-Bergum-1	NBG-1	NAM	2640	1965
47	Norg-1	NOR-1	NAM	3329	1965
48	Norg-3	NOR-3	NAM	3224	1977
49	Norg Zuid-1	NRZ-1	NAM	3956	1984
50	Oost-Flevoland-1	OFL-1	NAM	2390	1965
51	Opeinde-1	OPE-1	Elf Petr.	1991	1976
52	Opeinde-2	OPE-2	Elf Petr.	1955	1979
53	Opende Oost-1	OPO-1	NAM	3100	1979
54	Oppenhuizen-1	OPH-1	NAM	2190	1972
55	Oudega-Akkrum-1	AKM-1	Chevron	2492	1965
56	Oudega-Akkrum-2	AKM-2	Chevron	2487	1965
57	Oudega-Akkrum-3	AKM-3	Chevron	2362	1966
58	Oudega-Akkrum-4	AKM-4	Chevron	2362	1966
59	Oudega-Akkrum-5	AKM-5	Chevron	2412	1969
60	Oudega-Akkrum-6	AKM-6	Chevron	1945	1976
61	Oudega-Akkrum-7	AKM-7	Chevron	2095	1980
62	Oudega-Akkrum-9	AKM-9	Chevron	2603	1980
63	Oudega-Akkrum-11	AKM-11	Chevron	2513	1978
64	Oudega-Akkrum-13	AKM-13	Chevron	2400	1980
65	Oudega-Akkrum-15	AKM-15	Chevron	2144	1981
66	Punthorst-1	PTH-1	NAM	1922	1984
67	Rauwerd-1	RWD-1	Elf Petr.	1979	1981
68	Rauwerd-2	RWD-2	Elf Petr.	1981	1982
69	Ried-1	RID-1	NAM	3039	1952
70	Ruinen-1	RUI-1	NAM	1489	1950
71	Ruinen-2	RUI-2	NAM	1287	1954
72	Sloten-1	STN-1	Elf Petr.	2193	1969
73	Smilde-1	SML-1	NAM	2550	1974
74	Sneek-1	SNK-1	Elf Petr.	2005	1969
75	Sonnega-Weststellingwerf-1	SOW-1	NAM	1983	1963
76	Staphorst-1	STA-1	NAM	1495	1950
77	Staphorst-2	STA-2	NAM	1635	1950
78	Staphorst-3	STA-3	NAM	1485	1950
79	Steenwijkerwold-1	SWD-1	NAM	3649	1966
80	Suawoude-2	SUW-2	NAM	3161	1980
81	Tietjerksteradeel-105	TID-105	NAM	3055	1986
82	Tietjerksteradeel-401	TID-401	NAM	2300	1978

wordt vervolgd op pag. 108

Vervolg Appendix B

<i>No.</i>	<i>Naam boring</i>	<i>Code</i>	<i>Eigenaar</i>	<i>Einddiepte</i>	<i>Jaar</i>
83	Ureterp-1	URE-1	NAM	2188	1950
84	Ureterp-101	URE-101	NAM	2597	1966
85	Vledder-1	VLR-1	NAM	2518	1981
86	Wanneperveen-1	WAV-1	NAM	2070	1951
87	Wanneperveen-6	WAV-6	NAM	1519	1952
88	Wanneperveen-12	WAV-12	NAM	1575	1983
89	Warga-1	WRG-1	Elf Petr.	2501	1965
	West-Harlingen-1	HAW-1	Placid	3348	1965
90	Weststellingwerf-1	WSF-1	Elf Petr.	2086	1983
91	De Wijk-1	WYK-1	NAM	1174	1949
92	De Wijk-4	WYK-4	NAM	1204	1951
93	De Wijk-7	WYK-7	NAM	2696	1954
94	De Wijk-13	WYK-13	NAM	2700	1973
95	De Wijk-15	WYK-15	NAM	3380	1977
96	De Wijk-17	WYK-17	NAM	1622	1978
97	De Wijk-19	WYK-19	NAM	1526	1978
98	De Wijk-20	WYK-20	NAM	1560	1981
99	De Wijk-21	WYK-21	NAM	2970	1982
101	Wirdum-1	WRM-1	Elf Petr.	1916	1972
101	Wirdum-2	WRM-2	Elf Petr.	1935	1980
102	Zeewolde-1	ZEW-1	Conoco	2000	1966
103	Zuidwolde-1	ZUW-1	NAM	2912	1954
104	Zurich-Waddenzee-1	ZUR-1	Placid	2164	1965
105	Zevenhuizen-1	ZVH-1	NAM	3270	1983
106	Zwolle-1	ZWO-1	NAM	1058	1965

¹ De locaties van de genummerde boringen staan weergegeven in figuur 1.4. Voor de locaties van de niet-genummerde boringen Ermelo-1, IJsselmeer-1 en West-Harlingen-1 wordt resp. verwezen naar de figuren 5.1, 7.1 en 11.5.

Reservoirsommities Boven-Rotliegend Groep

De sommaties in de drie onderstaande tabellen zijn uitgevoerd over resp. de gehele Boven-Rotliegend Groep, de Slochteren Zandsteen Formatie en de Akkrum Zandsteen. Toegepaste cut-off waarden: kleigehalte $Vcl(co) = 50\%$; effectieve porositeit $\emptyset e(co) = 6\%$. De cut-off waarde van de effectieve porositeit is gebaseerd op kerngegevens. Boringen waarin slechts een gedeelte van het Boven-Rotliegend traject geëvalueerd werd, worden aangegeven met *.

Bruto, netto in meters

$\emptyset em$ = gemiddelde effectieve porositeit (in procenten)

$Vclm$ = gemiddeld kleigehalte (in procenten).

Boven-Rotliegend Groep

<i>Put</i>	<i>Bruto</i>	<i>Reservoir</i>		
		<i>Netto</i>	<i>$\emptyset em$</i>	<i>$Vclm$</i>
AKM-1	156.0	115.3	20.7	15.9
AKM-11	118.9	109.5	20.2	10.6
AKM-13	100.6	75.4	20.4	22.0
EMO-1	44.0	43.7	25.8	12.8
HGM-1	92.3	91.2	23.9	19.7
KAM-1	123.2	117.7	18.1	6.8
LEL-1	144.0	143.2	21.1	8.6
MAL-1	182.6	134.3	21.0	16.8
MAR-2	168.2	121.2	17.6	24.3
MBN-1	166.2	126.5	20.5	13.6
NOR-1 *	137.2	111.2	16.0	17.3
NSL-1	29.6	29.2	18.3	19.3
OPH-1	65.3	33.7	11.7	41.4
OPO-1	201.2	149.2	18.2	22.7
STN-1	95.7	95.0	25.6	21.0
SUW-2 *	158.3	112.8	18.7	16.3
URE-101	159.0	117.3	17.1	10.8
VLR-1	40.4	31.6	19.9	14.1
WYK-15	15.8	15.4	16.7	22.1

Slochteren Zandsteen Formatie

<i>Put</i>	<i>Bruto</i>	<i>Reservoir</i>		
		<i>Netto</i>	<i>Ø_{em}</i>	<i>V_{clm}</i>
AKM-1	114.9	113.9	20.9	15.8
AKM-11	97.6	97.6	20.9	8.8
AKM-13	80.8	73.8	20.5	21.8
EMO-1	44.0	43.7	25.8	12.8
HGM-1	92.3	91.2	23.9	19.7
KAM-1	123.2	117.7	18.1	6.8
LEL-1	144.0	143.2	21.1	8.6
MAL-1	136.2	133.5	21.1	16.8
MAR-2	121.1	119.4	17.6	24.1
MBN-1	125.8	125.4	20.6	13.7
NOR-1 *	118.5	106.6	16.2	16.9
NSL-1	29.6	29.2	18.3	19.3
OPH-1	65.3	33.7	11.7	41.4
OPO-1	155.5	148.4	18.2	22.5
STN-1	95.7	95.0	25.6	21.0
SUW-2 *	111.7	109.8	18.7	16.1
URE-101	120.3	116.1	17.2	10.6
VLR-1	26.6	26.0	20.1	11.9
WYK-15	15.8	15.4	16.7	22.1

Akkrum Zandsteen

<i>Put</i>	<i>Bruto</i>	<i>Reservoir</i>		
		<i>Netto</i>	<i>Ø_{em}</i>	<i>V_{clm}</i>
AKM-1	1.3	1.0	12.0	22.9
AKM-11	1.4	1.4	13.9	16.7
AKM-13	1.3	0.0	–	–
VLR-1	5.8	5.6	18.7	24.2

Appendix D

Show, status en testgegevens Boven-Rotliegend

<i>Put</i>	<i>Show</i>	<i>Status</i>	<i>Test</i>	<i>Interval</i>	<i>Opbrengst</i>	<i>Debiet</i>	<i>Eenheid</i>
AKM-1	gas	GAS	PRP 1	2342-2348	G	470	ROSL
AKM-11	gas	GAS	PRP 1	2398-2402	G	400	ROCLT/ROSL
					W	26.6	
			PRP 3	2377-2378	G	780	ROSLA
					C	6.2	
					(W)		
AKM-13	gas	GAS	PRP 2	2230-2245	G	285	ROCLT/ROSL
					W	200	
EMO-1	-	D&A	DST 1	1686-1696	SW	10300	ROSL
			FIT 1	1681	SW	20	ROSL
KAM-1	gas	D&A	DST 1	1785-1829	GCSW	2400	ROSL
					GCM	1900	
					C		
			FIT 1	1785-1829	G	0	ROSL
					FW + MF	2	
LEL-1	gas	D&A	DST 1	1850-1950	G + SW		ROSL
MAL-1	gas	SUS	RFT 6	2899			ROCLT
			RFT 7	2930	G + W (u)	3.8	ROSLU
					G + W (l)	10.4	
			RFT	2930-3079			ROSL
MAR-2	gas	GAS	PRP	2580-2616	G	680	ROSL
					W	2.7	
					C	7.3	
MBN-1	gas	SUS	PRP	2493-2499	G	170	ROCLT
					W	10	
NOR-1	gas	SUS	PRP	2838-2844	G	350	ROSL
					C	5.9	
					(W)		
OPH-1	-	D&A	FIT	2068	SW + MF	10	ROSL
STN-1	-	D&A	DST 2	1998-2020	SW	11500	ROSL
SUW-2	gas	GAS	PRP	2957-2990	G	2400	ROCLT/ROSL
					W	8.4	
					C	0.7	
URE-101	gas	GAS	PRP 1	2431-2437	G	345	ROSL
					W	1.1	
					C	0.4	
VLR-1	-	D&A	RFT	2411	MF + FW (u)	3.8	ROSL
					MF + FW (l)	10.4	
WYK-15	-	D&A	RFT 1	3017			ROSL

Legenda appendices D, F en H

GAS	=	gasproductie
D&A	=	dry and abandoned (droog en verlaten)
SUS	=	suspended (gas- of olievoerend en tijdelijk verlaten)

testinterval in meters

FIT	=	formatie interval test (debiet in liters)
RFT	=	repeat formation test (debiet in liters)
DST	=	drill stem test (debiet in liters)
PRP	=	produktie proef (debiet gas (Q50) in 1000 m ³ /d, debiet water en condensaat in m ³ /d)

G	=	gas
O	=	olie
C	=	condensaat
FW	=	formatie water
SW	=	salt water
W	=	water
MF	=	mud filtraat
GCM	=	gas cut mud
GCSW	=	gas cut salt water

(u)	=	in bovenste kamer van RFT
(l)	=	in onderste kamer van RFT
nz	=	na zuring
gs	=	geen stabilisatie

ROSL	=	Slochteren Zandsteen Formatie
ROSLA	=	Akkrum Zandsteen
ROCLT	=	Ten Boer Kleisteen
ROSLU	=	Boven-Slochteren Zandsteen

Reservoirsommities Zechstein 2 Carbonaat

Toegepaste cut-off waarden: kleigehalte $V_{cl}(co) = 50\%$; effectieve porositeit $\emptyset_e(co) = 2\%$. De cut-off waarde van de effectieve porositeit is gebaseerd op kerngegevens.

Bruto, netto in meters

$\emptyset_m$ = gemiddelde effectieve porositeit (in procenten)

V_{clm} = gemiddeld kleigehalte (in procenten)

Put	Bruto	Reservoir		
		Netto	$\emptyset_{em}$	V_{clm}
AKM-2	18.5	13.6	3.1	10.9
AKM-11	13.6	3.6	2.8	31.7
AKM-13	19.0	6.6	4.4	8.5
ALO-1	12.2	4.0	7.0	14.9
HGM-1	42.0	41.6	12.1	4.1
LNH-1	40.9	29.6	5.0	4.2
NLM-1	23.5	21.8	6.5	3.2
NSL-1	20.2	16.8	7.5	8.0
OPH-1	25.6	20.0	6.6	4.7
WSF-1	23.4	19.4	6.1	13.3
WYK-15	17.8	4.7	2.9	29.4
WYK-21	24.0	13.8	4.9	14.8

Appendix F

Show, status en testgegevens Zechstein 2 Carbonaat

Put	Show	Status	Test	Interval	Opbrengst	Debiet
AKM-2	–	D&A	DST 3	2275-2294	MF	
AKM-13	gas	GAS	PRP		G	(gs)
NSL-1	olie	SUS	PRP 1	2067-2077	O	27
					W	81
					(G)	
			FIT 1	2077	MF	10.5
OPH-1	gas	SUS	PRP	1993-2015	G	225 (nz)
					C	0.3 (nz)
WSF-1	gas	SUS	PRP	1934-1943	G	108 (nz)
					W	0.5 (nz)
			RFT	1937	G	900
					FW + C	1
WYK-15	–	D&A	RFT	2827-2833	tight	
WYK-21	–	D&A	RFT	2708-2730	O	0

Reservoirsommities Vlieland Zandsteen

Toegepaste cut-off waarden: kleigehalte $V_{cl}(co)=50\%$; effectieve porositeit $\emptyset_e(co)=8\%$. De cut-off waarde van de effectieve porositeit is gebaseerd op kerngegevens.

Bruto, netto in meters

$\emptyset_{em}$ = gemiddelde effectieve porositeit (in procenten)

V_{clm} = gemiddeld kleigehalte (in procenten)

<i>Put</i>	<i>Bruto</i>	<i>Reservoir</i>		
		<i>Netto</i>	$\emptyset_{em}$	V_{clm}
AKM-2	19.3	8.7	13.0	35.5
AKM-11	3.7	2.5	13.1	41.3
BOZ-1	42.2	25.2	11.4	35.0
BWD-1	8.0	2.5	13.6	42.9
NSL-1	18.3	12.3	15.3	36.1
TID-105	35.8	29.6	14.3	21.6
WYK-15	3.2	0.0	–	–

Appendix H

Show, status en testgegevens Vlieland Zandsteen

<i>Put</i>	<i>Show</i>	<i>Status</i>	<i>Test</i>	<i>Interval</i>	<i>Opbrengst</i>	<i>Debiet</i>
AKM-2	–	D&A	DST 1	1975-1979	FW + MF	11400
			DST 2	1978-1983	FW + MF	19200
BOZ-1	gas	GAS	PRP	1880-1889	G	0
NSL-1	gas	SUS	PRP 2	1970-1979	G	2000
					C	29.8

Slijpplaten

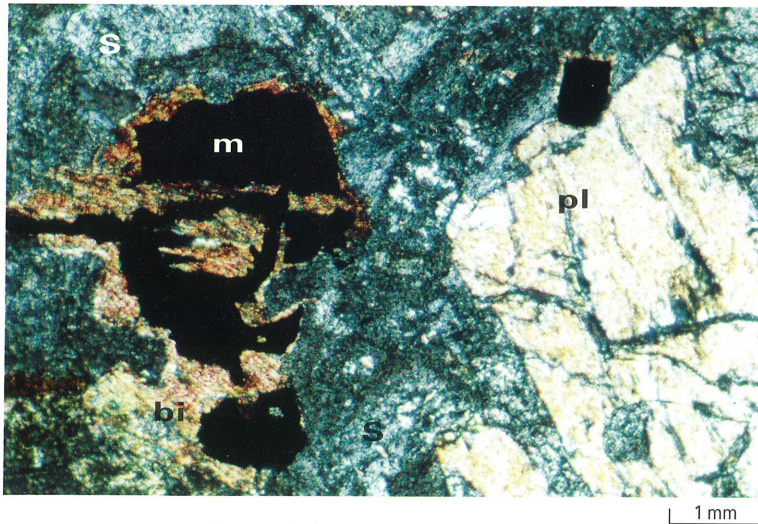


Foto 1 Microscopisch beeld van gerserpentiniseerde gabbro uit de boring Wanneperveen-1 (2064 - 2069,50 m; pl = plagioklaas, bi = biotiet, s = serpentiniet en m = magnetiet; onder gekruiste nichols). Serpentiniet is een omzettingsprodukt van olivijn. Olivijn was voor de omzetting een belangrijk samenstellend mineraal van de gabbro.

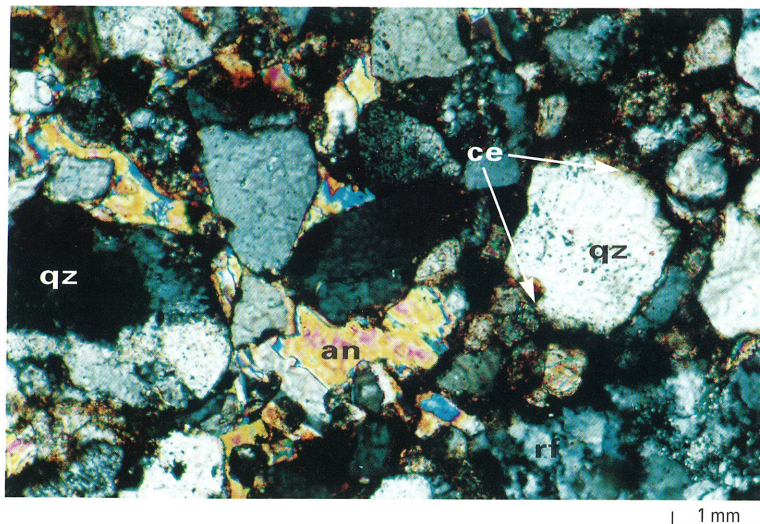


Foto 2 Microscopisch beeld van Slochteren Zandsteen: gecementeerde, fluviatiele zandsteen uit de boring Oudega-Akkrum-2 op 2381,50 m diepte (qz = kwarts, rf = gesteentefragment, an = anhydriet en ce = roodbruin ijzerhoudend cement; onder gekruiste nichols).

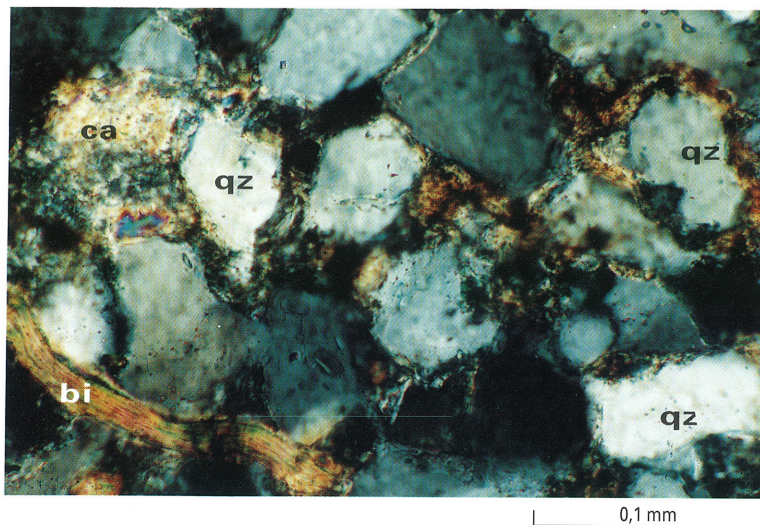


Foto 3 Microscopisch beeld van dunne doorsnede van de Vlieland Zandsteen uit de boring Oudega-Akkrum-2 op 1984.1 m (qz= kwarts, ca = calciet en bi = biotiet; onder gekruiste nichols).

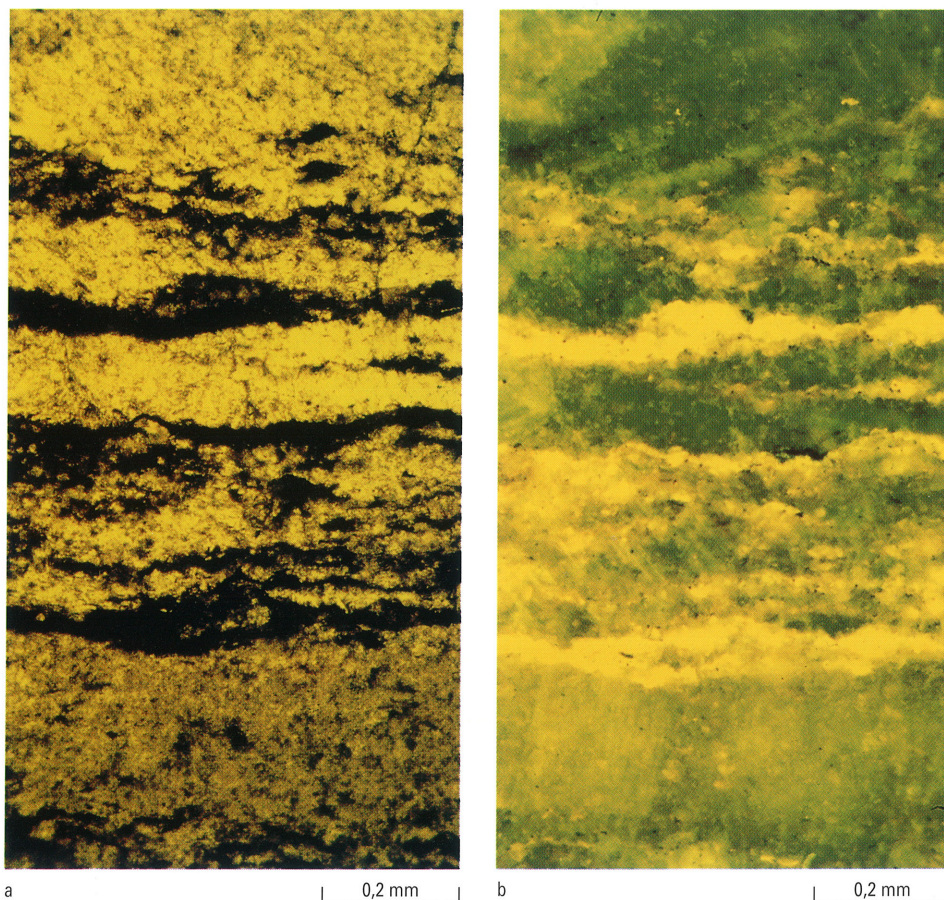


Foto 4 Microscopisch beeld van Zechstein 2 Carbonaat uit de boring Oudega-Akkrum-2 op 2273.5 m.

a Normaal doorvallend licht met blauw filter (geel = calciet/dolomiet, zwart = klei of olie).

b Fluorescentie beeld (groen = calciet/dolomiet, bruin = klei, fluorescerend geel/wit = olie).

Referenties

Literatuurreferenties

- Arthaud, F. & Matte, P. (1975) *Les décrochements tardi-Hercyniens du sud-ouest de l'Europe; géométrie et essais de reconstruction des conditions de la déformation*. Tectonophysics 25, p. 139–170.
- Arthaud, F. & Matte P. (1977) *Late Paleozoic strike-slip faulting in southern Europe and North Africa; results of a right-lateral shear zone between the Appalachians and the Urals*. Geol. Soc. Am. Bull. 88, p. 1305–1320.
- Baldschuhn, R., Best, G. & Kockel, F. (1991) *Inversion tectonics in the Northwest German Basin*. In: Generation, Accumulation and Production of Europe's Hydrocarbons (Spencer, A.M., ed.), Special publication EAPG no.1.
- Bertelsen, F. (1980) *Lithostratigraphy and depositional history of the Danish Triassic*. Geol. Surv. Denmark, Ser.B, no.4, 59pp.
- Best, G. (1989) *Die Grenze Zechstein/Buntsandstein in Nordwestdeutschland und in der südlichen deutschen Nordsee nach Bohrlochmessungen*. Zeit. deut. Geol. Ges., bd.140, p. 73–85.
- Betz, B., Fürher, F., Greiner, G. & Plein, E. (1987) *Evolution of the Lower Saxony Basin*. Tectonophysics 137, p. 127–170.
- Beutler, G. & Schüler, F. (1979) *Über altkimmerischen Bewegungen im Norden der DDR und ihre regionale Bedeutung (Fortschrittsbericht)*. Zeit. geol. Wiss., Berlin 6 (4), p. 403–420.
- Bischoff, G. & Wolburg, J. (1963) *Zur Entwicklung des Obermalm im Emsland*. Erdöl-Zeitschrift, vol. 79, p. 1–55.
- Blanche, J.B. (1973) *The Rotliegende Sandstone Formation of the United Kingdom sector of the Southern North Sea Basin*. Trans. Inst. Min. Metal., Sect.B, Appl. Earth Sci., vol. 82, p. B85–B89.
- Bless, M.J.M., Bouckaert, J., Claver, M.A., Graulich, J.M. & Paproth, E. (1977) *Paleogeography of Upper Westphalian deposits in NW Europe with reference to the Westphalian C north of the mobile Variscan Belt*. Med. Rijks Geol. Dienst, 28-5, p.101-147.
- Bless, M.J.M., Bouckart, J. & Paproth, F. (1983) *Recent exploration on Pre-Permian rocks around the Brabant Massif in Belgium, The Netherlands and the Federal Republic of Germany*. Geologie en Mijnbouw, vol. 62(1), p. 51–62.
- Brennand, T.P. (1975) *The Triassic of the North Sea*. In: Petroleum Geology and the Continental Shelf of North-West Europe (Woodland, A.W., ed.), Inst. Petroleum Appl. Sci. Publ., Barking, England, p. 295–311.
- Brüning, U. (1986) *Stratigraphie und Lithofazies des Unteren Buntsandsteins in Südniedersachsen und Nordhessen*. Geologisches Jahrbuch, A90, p. 3–125.
- Cottençon, A., Parant, B. & Flacelière, G. (1975) *Lower Cretaceous gas fields in Holland*. In: Petroleum Geology and the Continental Shelf of North-West Europe (Woodland, A.W., ed.), Inst. Petroleum Appl. Sci. Publ., Barking, England, p. 403–412.
- Christensen, T. (1962) *Alger*. Botanik, 2 (2), 178pp.
- Crittenden, S. (1987) *The 'Albian transgression' in the Southern North Sea Basin*. Journ. Petr. Geol., vol. 10, p. 395–414.
- Donovan, D.T. & Jones, E.J.W. (1979) *Causes for world-wide changes in sea level*. Journ. Roy. Soc. London, vol. 136, p. 187–192.
- Dorsman, L. (1954) *Geological occurrences of natural gas in the Netherlands*. Geologie en Mijnbouw, vol. 16, p. 443–448.
- Eckhardt, H.J. (1979) *Der Permische Vulkanismus Mitteleuropas*. Geologisches Jahrbuch, Ser. D35, 84pp.
- Eigenfeld, R.W.F., Eigenfeld-Mende, I. (1986) *Niederländische Permo-Karbone basische Magmatite als Fortsetzung der splitierten effusiva in NW-Deutschland*. In: Mededelingen Rijks Geol. Dienst (Haarlem), volume 40-1, p. 11–21.
- Fertl, W.H. (1987) *Log-derived evaluation of shaly clastic reservoirs*. Journ. Petr. Techn., February 1987, p. 175–194.
- Francis, E.H. (1988) *Mid-Devonian to early Permian volcanism in the Old World*. In: The Caledonian-Appalachian orogene (A.L. Harris & D.J. Fettes, eds.), Geol. Soc., London, Spec. Publ. 38, p. 573–584.
- Fuchs, K., von Gehlen, K., Mälzer, H., Murawski, H. & Semmel, A., eds. (1983) *Plateau Uplift. The Rhenish Shield - a case history*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 411pp.

- GAPS (1991) *Bury, version 5.42E*. Burial analysis software (GAPS Geological Consultants).
- Gdula, J.E., (1983) *Reservoir geology, structural framework and petrophysical aspects of the De Wijk gasfield*. In: Petroleum Geology of the southeastern North Sea and adjacent onshore areas (Kaasschieter, J.P.H. & Reijers, T.J.A., eds.), *Geologie en Mijnbouw* 62, p. 191–202.
- Glennie, K.W. (1972) *Permian Rotliegend of North-West Europe, interpreted in the light of modern desert sedimentation*. AAPG Bull. 56, p. 1048–1071.
- Glennie, K.W. (1983) *Lower Permian Rotliegend desert sedimentation in the North Sea area*. In: *Developments in Sedimentology* (Brookfield & Ahlbrandt, eds.), Elsevier, Amsterdam, vol.38, p. 521–541.
- Glennie, K.W. (1986) *Early Permian - Rotliegend*. In: *Introduction to the Petroleum Geology of the North Sea* (Glennie, K.W., ed.), Blackwell Scientific Publ., Oxford, Second edition, p.25–48.
- Glennie, K.W. & Buller, A.T. (1983) *The Permian Weissliegend of NW Europe: the partial deformation of aeolian dune sands caused by the Zechstein transgression*. *Sedimentary Geology*, vol.35, p. 43–81.
- Haanstra, U. (1963a) *Het pré-Tertiair van Twente*. In: *Geologie van Twente* (Anderson, W.H., Krul, P.C. & Römer, J.H., eds.). Uitg: Ned. Geol. Veren., p. 115–123.
- Haanstra, U. (1963b) *A review of Mesozoic geological history of The Netherlands*. *Verhandelingen Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen.*, vol.21(2), p. 35–55.
- Hancock, J.M. (1984) *Cretaceous*. In: *Petroleum Geology of the North Sea* (Glennie, K.W., ed.), Blackwell Scientific Publ., Oxford, p. 133–149.
- Hancock, J.M. & Scholle, P.A. (1975) *Chalk of the North Sea*. In: *Petroleum and the continental shelf of North-West Europe* (Woodland A.W., ed.). *Geology Appli. Sci. Publ. Inst. of Petroleum*, London, p. 413–427.
- Haq, B.U., Hardenbol, J. & Vail, P.R. (1987) *Chronology of fluctuating sealevels since the Triassic*. *Science* 235, p. 1156–1167.
- Harland, W.B., Armstrong, R.L., Cox, A.V., Craig, L.E., Smith, A.G. & Smith, D.G. (1990) *A geologic time table 1989*. Cambridge University Press, Cambridge, 263pp.
- Herngreen, G.F.W. & Wong, Th.E. (1989) *Revision of the 'Late Jurassic' stratigraphy of the Dutch Central North Sea Graben*. *Geologie en Mijnbouw*, vol. 68, p. 73–105.
- Herngreen, G.F.W., Smit, R. & Wong, Th.E. (1991) *Stratigraphy and Tectonics of the Vlieland Basin, The Netherlands*. In: *Generation, accumulation and production of Europe's hydrocarbons* (Spencer, A.M., ed.), Special publication EAPG no. 1, Oxford University Press, Oxford, p. 175–192.
- Heybroek, P. (1974) *Explanation to tectonic maps of The Netherlands*. *Geologie en Mijnbouw*, vol. 53, p. 43–50.
- Jans, C.V., Long, D., Hall, M.A., Bland, D.J. & Cornford, C. (1991) *The geochemie of the Plenius Marls at Dover, England: evidence of fluctuating oceanographic conditions and of glacial control during development of the Cenomanian-Turonian $\delta^{13}C$ anomaly*. *Geological Magazine*, vol. 128(6), p. 603–632.
- Kimpe W.F.M. (1953) *Doleritic and gabbroic intrusives in the Autunian (Lower Permian) of the boring Wanneperveen-1, Eastern Netherlands*. *Geologie en Mijnbouw*, vol. 15(3), p. 57–65.
- Letsch, W.J. & Sissingh, W. (1983) *Tertiary stratigraphy of The Netherlands*. *Geologie en Mijnbouw*, vol. 62, p. 305–318.
- Lorentz, V. & Nicholls, I.A. (1984) *Plate and intraplate processes of Hercynian Europe during the late Paleozoic*. *Tectonophysics*, 107, p. 25–56.
- Marie, J.P.P. (1975) *Rotliegendes stratigraphy and diagenesis*. In: *Petroleum Geology and the Continental Shelf of North-West Europe* (Woodland, A.W., ed.), Inst. Petroleum Appl. Sci. Publ., Barking, England, p. 205–211.
- NAM & RGD (1980), (Nederlandse Aardolie Maatschappij BV & Rijks Geologische Dienst) *Stratigraphic nomenclature of The Netherlands*. *Verhandelingen Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen.*, vol. 32, 77pp.
- Perrot, J. & Van der Poel, A.B. (1987) *Zuidwal - a Neocomian gas field*. In: *Petroleum of North West Europe* (Brooks, J. & Glennie, K.W., eds.), Graham & Trotman, London, vol. 1, p. 325–335.

- Pitman III, W.C. (1978) *Relationship between eustasy and stratigraphic sequences on passive margins*. Geol. Soc. Am. Bull., vol. 89, p. 1389–1403.
- Plomp, A.N. & Geluk, M.C. (1988) *Marginal deposits of the Zechstein evaporite basin (Upper Permian), The Netherlands*. Abstracts 9th European Regional Meeting IAS, Leuven, p. 172–174.
- Read, H.H. & Watson, J. (1975) *Introduction to Geology*. Earth History, part. II; Later Stages of Earth History, vol. 2. The Macmillan Press, London, 371pp.
- Richards, P. (1991) *Experiments on faulting in a two-layer cover sequence overlying a reactivated basement fault with oblique slip*. Journal of Structural Geology, vol. 13, No. 4, p. 459–469.
- Richter-Bernburg, G. (1986) *Zechstein 1 and 2 Anhydrites: facts and problems of sedimentation*. In: The English Zechstein and related topics (G.M. Harwood & D.B. Smith, eds.), Geological Society, London, Special publication 22, p. 33–70.
- RGD & NOGEPa (1993) *Stratigraphic nomenclature of the Netherlands, revision and update by RGD and NOGEPa*. Mededelingen Rijks Geol. Dienst (Haarlem), volume 50.
- Rijks Geologische Dienst (1983) *Geologische en hydrologische inventarisatie van Tertiaire en Onder-Kwartaire afzettingen in Midden-Nederland t.b.v. ondergrondse opslag en winning van warm water*. Rapport no. 83KA20EX.
- Rijks Geologische Dienst (1984) *Geologische en hydrologische inventarisatie van Tertiaire en Onder-Kwartaire afzettingen in Noord-Nederland t.b.v. ondergrondse opslag en winning van warm water*. Rapport nr. 84KAR08EX.
- Rijks Geologische Dienst (1988) *Geologische inventarisatie en ontstaansgeschiedenis van zoutvoorkomens in Noord-Oost Nederland*. Rapport nr. 10568.
- Rijks Geologische Dienst (1991a) *Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, Toelichting bij Blad I: Vlieland-Terschelling*, RGD, Haarlem, 77pp.
- Rijks Geologische Dienst (1991b) *Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, Toelichting bij Blad II: Ameland-Leeuwarden*, RGD, Haarlem, 87pp.
- Rijks Geologische Dienst (1993a) *Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, Toelichting bij blad IV: Texel-Purmerend*, RGD, Haarlem, 128pp.
- Schlanger, S.O., Arthur, M.A., Jenkyns, H.C. & Scholle, P.A. (1987) *The Cenomanian-Turonian oceanic anoxic event. Stratigraphy and distribution of organic carbon-rich beds and the marine ^{18}C incursion*. In: Marine Petroleum Source Rocks (Brooks, J., & Fleet, A.J., eds), Geological Society Special Publications no. 16, p. 371–399.
- Scholle, P.A. (1979) *A color illustrated guide to constituents, textures, cements and porosities of sandstones and associated rocks*, AAPG Mem. 28, 201pp.
- Schröder, B. (1982) *Entwicklung des Sedimentbeckens und Stratigraphie der klassischen germanischen Trias*. Geologisches Rundschau, Band 71, p. 783–794.
- Stach, E., Chandra, D., Makowsky, M.T.H., Taylor, G.H., Teichmüller, M. & Teichmüller, R. (1982) *Textbook of Coal Petrology* (Borntäger, ed.), Stuttgart, 3rd edition, 535pp.
- Stäuble, A.J. & Millius, G. (1970) *Geology of the Groningen gas-field, Netherlands*. In: Geology of giant petroleum fields (Halbouty, M.T., ed.), AAPG Mem. 14, p. 359–369.
- Stille, H. (1924) *Grundfragen der vergleichende Tektonik*. Borntäger, Berlin, 443pp.
- Taylor, J.C.M. (1986) *Late Permian - Zechstein*. In: Introduction to the Petroleum Geology of the North Sea (Glennie, K.W., ed.), Blackwell Scientific Publ., Oxford, Second edition, p. 86–111.
- 't Hart, B.B. (1969) *Die Oberjura- und Unterkreide Sedimentation in den nordlichen und östlichen Niederlanden*. Erdöl und Kohle-Erdgas-Petrochemie, vol. 22, p. 253–261.
- Thiadens, A.A. (1963) *The Palaeozoic of The Netherlands*. Reprint from Verhandelingen Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen., vol. 21–1, 28pp.
- Turner, P. (1980) *Continental Redbeds*. In: Developments in Sedimentology, 29. Elsevier, Amsterdam, 562pp.
- Van Adrichem Boogaert, H.A. & Burgers, W.F.J. (1983) *The development of the Zechstein in The Netherlands*. Geologie en Mijnbouw, vol. 62, p. 83–92.

- Van den Bosch, W. J. (1983) *The Harlingen Field, the only gas-field in the Upper Cretaceous Chalk of The Netherlands*. Geologie en Mijnbouw, vol. 62, p. 145–156.
- Van der Baan, D. (1990) *Zechstein reservoirs in The Netherlands*. In: Classic Petroleum Provinces (Brooks, J., ed.), Geol. Soc. Spec. Publ. No. 50, p. 379–398.
- Van der Poel, A.B. (1987) *Porosity development in some uplifted carbonates of the Southern Permian Basin (Texel-IJsselmeer High, The Netherlands and The Harz, Germany)*, Mededelingen Rijks Geol. Dienst, vol. 41–1, p. 1–16.
- Van Wijhe, D.H. & Bless, M.J.M. (1974) *The Westphalian of The Netherlands with special reference to miospore assemblages*. Geologie en Mijnbouw, vol. 53(6), p. 295–328.
- Van Wijhe, D.H. (1987a) *Structural evolution of inverted basins in the Dutch Offshore*. Tectonophysics, 137, p. 171–219.
- Van Wijhe, D.H. (1987b) *The structural evolution of the Broad Fourteens Basin*. In: Petroleum Geology of Northwest Europe (Brooks, J., & Glennie, K.W., eds.) Graham & Trotman, London, p. 315–323.
- Van Wijhe, D.H., Lutz, M. & Kaasschieter, J.P.H. (1980) *The Rotliegend in The Netherlands and its gas accumulations*. Geologie en Mijnbouw, vol. 59, p. 3–24.
- Visser, W.A. & Sung, G.C.L. (1958) *Oil and natural gas in north-eastern Netherlands*. In: Habitat of oil, Am. Assoc. Petr. Geol., Tulsa, p. 1067–1089.
- Walker, T.R. (1967) *Formation of redbeds in ancient and modern deserts*. Geol. Soc. Am. 78, p. 353–368.
- Warrington, G. (1974) *Les évaporites du Trias britannique*. Bulletin Soc. géologique France, (7) XVI(6), p. 708–723.
- Wolburg, J. (1961) *Sedimentations-Zyklen und Stratigraphie des Buntsandsteins in NW-Deutschland*. Geot. Forsch., Stuttgart, 14, p. 7–74.
- Wolburg, J. (1962) *Über Schwellungen im Mittleren Buntsandstein des Weser-Ems-Gebietes*. Erdöl-Zeitschrift, 78, p. 183–190.
- Zagwijn, W.H. (1989) *The Netherlands during the Tertiary and Quaternary: a case history of Coastal Lowlands evolution*. Geologie en Mijnbouw, vol. 68, p. 107–121.
- Ziegler, P.A. (1978) *North-Western Europe: tectonics and basin development*. Geologie en Mijnbouw, vol. 57, p. 589–626.
- Ziegler, P.A. (1982) *Geological Atlas of Western and Central Europe*. Shell International Petroleum Maatschappij B.V., distributed by Elsevier, Amsterdam, 130pp.
- Ziegler, P.A. (1987) *Late Cretaceous intra-plate compressional deformations in the Alpine foreland, a geodynamic model*. Tectonophysics, 137, p. 389–420.
- Ziegler, P.A. (1988) *Evolution of the Arctic - North Atlantic and the Western Tethys*. AAPG Mem. 43, 198pp.
- Ziegler, P.A. (1989) *Evolution of Laurussia - A study in Late Paleozoic Tectonics*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 102pp.
- Ziegler, P.A. (1990) *Geological Atlas of Western and Central Europe; second and completely revised edition*. Shell International Petroleum Maatschappij B.V., 239pp.

- RGD, 1974, Herngreen, G.F.W. *Resultaten van het palynologisch onderzoek van boring KA-27 (IJsselmeer-1)*. Rapport Micropal. Mesozoïcum no. 2088a.
- RGD, 1986, Plomp, A.N. *Zechstein Randfacies Studie*. Rapport no. 86ADV16.
- RGD, 1988, Geel, C.R. *Logcorrelaties binnen de Chalk Groep in NW-Nederland*. Rapport no. 88KAR18.
- RGD 1989, Geluk, M.C. & Parker, N. *Geologie van de Trias afzettingen op het kaartblad Texel-Purmerend*. Rapport no. 89KAR17.
- RGD 1990, Herngreen, G.F.W. *Samenvatting van de micropaleontologische en palynologische onderzoeksresultaten van boring Dronten-1*. Rapport no. 2233.
- RGD, 1991a, Witte, L.J. & Lissenberg, Th. *Revisie van het Onder-Krijt van een vijftal boringen, t.w. Leeuwarden-5, Waga-1, Eernewoude-1, Oudega-Akkrum-1 en Oudega-Akkrum-2*. Rapport no. 486.
- RGD, 1991b, Witte, L.J. & Schuurman H. *Biostratigrafisch onderzoek aan kernen in het Boven-Krijt van Nederland*. Rapport no. 525.
- RGD, 1991c, Witte, L.J. & Lissenberg, Th. *Biostratigrafisch interpretatie aan interval 1392-1499 m van boring Wanneperveen-1*. Rapport no. 535.
- RGD, 1991d, Witte, L.J. & Lissenberg, Th. *Biostratigrafische interpretatie van interval 2150 m²-186 van boring Oudega-Akkrum-11*. Rapport no. 536.
- RGD, 1992a, Van Amerom, H.W.J. *Rapport betreffende drie kerntrajecten van diepboring Nagele-1 (Elf Petroland)*. Rapport GB 2362.
- RGD, 1992b, Witte, L.J. & Lissenberg, Th. *Biostratigrafische interpretatie van interval 1590-1680 m van boring Emmeloord-1*. Rapport no. 533.
- RGD, 1992c, Witte, L.J. & Lissenberg, Th. *Biostratigrafische interpretatie van interval 1520-1620 m van boring Nagele-1*. Rapport no. 534.
- RGD, 1992d, Witte, L.J. & Lissenberg, Th. *Biostratigrafische interpretatie van interval 1950-2005 m van boring Nijensleek-1*. Rapport no. 540.
- RGD, 1993a, Ramaekers, J.J.F. & Neele, N.N. *Resultaten petrofysische evaluatie van een drietal reservoirs op kaartblad V*. Rapport no. 93KAR07.
- RGD, 1993b, Fermont, W., David, P. & Jegers, L. *Geochemische en koolpetrografische prospectiviteitsonderzoek van de diepe ondergrond van Noord-Nederland, Kaartblad V*. Rapport no. GB2424.

¹ Interne rapporten van de Rijks Geologische Dienst zijn niet algemeen beschikbaar voor derden.

Colofon

Geologische kaarten

De kaarten zijn samengesteld door

W. Apon

J. Klijn

R.H.B. Rijkers

Vormgeving

R.M. Metten

Kartografie

Europees Cartografisch Instituut, Zoetermeer

Druk

Haagsche Drukkerij, Den Haag

Toelichting

De tekst van de toelichting bij de kaarten is geschreven door

R.H.B. Rijkers

Figuren

R.R. van der Kraan

Vormgeving

BRS Premsela Vonk, Amsterdam

J.A.M. Bruinenberg

Druk

Sdu Grafische Projecten, Den Haag

Algehele leiding

Th.H.M. van Doorn

Copyright © 1993

Rijks Geologische Dienst, Haarlem

Behoudens uitzondering door de Wet gesteld mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbende(n) op het auteursrecht niets uit deze uitgave worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of anderszins. Deze restrictie geldt eveneens voor de gehele of gedeeltelijke bewerking van kaarten en profielen. De uitgever is met uitsluiting van ieder ander gerechtigd de door derden verschuldigde vergoedingen van kopiëren, als bedoeld in artikel 17 lid 2, Auteurswet en in het K.B. van 20 juni 1974 (Stb. 351) ex artikel 16b Auteurswet 1912, te innen en/of daartoe in en buiten rechte op te treden.

ISBN 90-72869-20-6

Deze publicatie kan worden aangehaald als

Rijks Geologische Dienst, 1993 – Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland,
Toelichting bij kaartblad V: Sneek – Zwolle, RGD, Haarlem.

Deze publikatie is eveneens verkrijgbaar in een Engelstalige versie (ISBN 90-72869-21-4).
This publication is also available in English (ISBN 90-72869-21-4).

