Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO

Toelichting bij Kaartblad VI Veendam-Hoogeveen



Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland

Toelichting bij Kaartblad VI
Veendam-Hoogeveen

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Utrecht 2000

Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland

Oliewinning nabij Schoonebeek.
Foto beschikbaar gesteld door Nederlandse Aardolie Maatschappij.



Inhoud

Voorwoord

1 Opzet van het onderzoek
1.1 Ligging van het studiegebied
1.2 Gegevensbestand
1.3 Geologisch onderzoek
1.4 Seismische kartering
1.5 Biostratigrafisch onderzoek
1.6 Petrofysisch onderzoek
1.7 Geochemisch onderzoek
1.8 Kaarten en profielen

2 Exploratiegeschiedenis
2.1 Inleiding
2.1.1 Koolwaterstoffen
2.1.1.1 Aardolie
2.1.1.2 Aardgas
2.1.2 Zout

3 Structurele raamwerk

4 Limburg Groep
4.1 Stratigrafie
4.1.1 Geul Subgroep
4.1.1.1 Epen Formatie
4.1.2 Caumer Subgroep
4.1.2.1 Baarlo Formatie
4.1.2.2 Ruurlo Formatie
4.1.2.3 Maurits Formatie
4.1.3 Dinkel Subgroep
4.1.3.1 Tubbergen Formatie
4.1.4 Hunze Subgroep
4.1.4.1 De Lutte Formatie
4.2 Intrusiegesteenten
4.3 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie
4.4 Seismische facies
4.5 Petrofysische evaluatie

5 Onder-Rotliegend Groep
5.1 Stratigrafie
5.1.1 Emmen Vulkaniet Formatie
5.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

6 Boven-Rotliegend Groep
6.1 Stratigrafie
6.1.1 Slochteren Formatie
6.1.2 Silverpit Formatie
6.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie
6.3 Petrofysische evaluatie

7 Zechstein Groep
7.1 Stratigrafie
7.1.1 Z1 (Werra) Formatie
7.1.2 Z2 (Stassfurt) Formatie
7.1.3 Z3 (Leine) Formatie
7.1.4 Z4 (Aller) Formatie
7.1.5 Z5 (Ohre) Formatie
7.1.6 Zechstein Boven-Kleisteen Formatie
7.1.7 Zechstein caprock formatie
7.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie
7.3 Petrofysische evaluatie

8 Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep
8.1 Algemeen
8.2 Onder-Germaanse Trias Groep
8.2.1 Stratigrafie
8.2.2 Onder-Bontzandsteen Formatie
8.2.3 Hoofd-Bontzandsteen Subgroep
8.2.3.1 Volpriehausen Formatie
8.2.3.2 Detfurth Formatie
8.2.3.3 Hardegsen Formatie
8.3 Boven-Germaanse Trias Groep
8.3.1 Stratigrafie
8.3.2 Solling Formatie
8.3.3 Röt Formatie
8.3.4 Muschelkalk Formatie
8.3.5 Keuper Formatie
8.4 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie
8.5 Petrofysische evaluatie

9 Altena Groep
9.1 Stratigrafie
9.1.1 Sleen Formatie
9.1.2 Aalburg Formatie
9.1.3 Posidonia Schalie Formatie
9.1.4 Werkendam Formatie
9.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

10 Nedersaksen Groep
10.1 Stratigrafie
10.1.1 Weiteveen Formatie
10.1.2 Coevorden Formatie
10.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

11 Rijnland Groep
11.1 Stratigrafie
11.1.1 Vlieland subgroep
11.1.1.1 Vlieland Zandsteen Formatie

11.1.1.2 Vlieland Kleisteen Formatie
11.1.2 Holland Formatie
11.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie
11.3 Petrofysische evaluatie

12 Krijtkalk Groep
12.1 Stratigrafie
12.1.1 Texel Formatie
12.1.2 Ommelanden Formatie
12.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

13 Noordzee Supergroep
13.1 Stratigrafie
13.1.1 Onder-Noordzee Groep
13.1.1.1 Formatie van Landen
13.1.1.2 Formatie van Dongen
13.1.2 Midden-Noordzee Groep
13.1.2.1 Formatie van Rupel
13.1.3 Boven-Noordzee Groep
13.1.3.1 Formatie van Breda
13.1.3.2 Formatie van Oosterhout
13.1.3.3 Formatie van Scheemda
13.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie
13.3 Petrofysische gegevens

14 Geologische geschiedenis
14.1 Inleiding
14.2 Bekkenontwikkeling, sedimentatie en tektoniek
14.2.1 Laat-Carboon
14.2.2 Perm
14.2.3 Trias
14.2.4 Jura
14.2.5 Krijt
14.2.6 Kenozoïcum
14.3 Geochemische evaluatie en begravingsgeschiedenis
14.3.1 Inleiding
14.3.2 Resultaten
14.4 Zoutstructuren
14.4.1 Inleiding
14.4.2 Groepen en individuele zoutstructuren
14.4.3 Zoutintrusie

15 Toegepaste geologie en ruimtelijke ordening
15.1 Inleiding
15.1.1 Winning van aardwarmte
15.1.2 Winning van thermaal water
15.1.3 Ondergrondse gasopslag
15.1.3.1 Aquifer of reservoir
15.1.3.2 Zoutcavernes

15.1.4 Ondergrondse CO_2-opslag
15.1.5 Ondergrondse opslag van hoog-toxisch afval
15.1.6 Zoutwinning
15.2 Combinatiemogelijkheden van toepassingen

Appendices

Appendix A: Overzicht gebruikte seismische gegevens
Appendix B: Overzicht gebruikte boringen
Appendix C: Reservoirsommaties Limburg Groep
Appendix D: Show, status en testgegevens Limburg Groep
Legenda bij de appendices C, D, E, F, G, H, I, J, K, L
Appendix E: Reservoirsommaties Boven-Rotliegend Groep
Appendix F: Show, status en testgegevens Boven-Rotliegend Groep
Appendix G: Reservoirsommaties Zechstein Groep
Appendix H: Show, status en testgegevens Zechstein Groep
Appendix I: Reservoirsommaties Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep
Appendix J: Show, status en testgegevens Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep
Appendix K: Reservoirsommaties Rijnland Groep
Appendix L: Show, status en testgegevens Rijnland Groep

Referenties

a. Literatuurreferenties
b. Interne TNO-NITG rapporten

Kaarten en profielen

Kaart 1: Diepte van de basis van de Onder-Rotliegend Groep
Kaart 2: Diepte van de basis van de Boven-Rotliegend Groep
Kaart 3: Diepte van de basis van de Zechstein Groep
Kaart 4: Diepte van de top van de Zechstein Groep
Kaart 5: Dikte van de Zechstein Groep
Kaart 6: Diepte van de basis van de Onder-Germaanse Trias Groep
Kaart 7: Dikte van de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep
Kaart 8: Diepte van de basis van de Altena Groep
Kaart 9: Dikte van de Altena Groep
Kaart 10: Diepte van de basis van de Nedersaksen Groep
Kaart 11: Dikte van de Nedersaksen Groep
Kaart 12: Diepte van de basis van de Rijnland Groep
Kaart 13: Dikte van de Rijnland Groep
Kaart 14: Diepte van de basis van de Krijtkalk Groep
Kaart 15: Dikte van de Krijtkalk Groep
Kaart 16: Diepte van de basis van de Noordzee Supergroep
Kaart 17: Diepte van de basis van de Boven-Noordzee Groep
Kaart 18: Afgedekte geologische kaart onder de basis van de Nedersaksen Groep
Kaart 19: Afgedekte geologische kaart onder de basis van de Rijnland Groep
Kaart 20: Afgedekte geologische kaart onder de basis van de Noordzee Supergroep
Kaart 21: Structurele profielen

Het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO zet met de publicatie van het Kaartblad VI de Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond voort.

Dat het publiekelijk beschikbaar maken van de TNO-NITG-kennis betreffende de diepe geologie (dieper dan 500 m) slechts in beperkte mate plaats vond, is het directe gevolg van de status van de benodigde gegevens. Deze worden namelijk in belangrijke mate verkregen uit seismische onderzoekingen en diepe boringen welke bijna uitsluitend uitgevoerd worden door particuliere maatschappijen. Vanwege de grote commerciële belangen in de industrie zijn deze gegevens van confidentiële aard, maar zij worden aan het TNO-NITG 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 het TNO-NITG deze gegevens bewerkt en de resultaten daarvan publiceert, mits de gegevens ouder zijn dan 10 jaar. Een uitzondering wordt gemaakt voor gegevens afkomstig uit concessiegebieden voor koolwaterstoffen en steenzout. Voor deze gegevens geldt een beperking van vijf jaar. Deze regeling maakt het mogelijk, dat het TNO-NITG toch een bredere bekendheid kan geven aan de geologische opbouw van de diepe ondergrond van Nederland.

Het kaartblad Veendam-Hoogeveen van de Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland is het achtste kaartblad dat wordt uitgebracht in het kader van de systematische kartering van de diepe ondergrond van Nederland. Hiertoe is Nederland verdeeld in 15 kaartbladen, die op schaal 1:250.000 uitgebracht worden (zie fig. 1.1 voor de kaartbladindeling). In het jaarverslag van het TNO-NITG wordt een actueel 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 de provincies Drenthe en delen van Groningen en Friesland. Ten opzichte van voorgaande kaartbladen is de indeling van de toelichting op enkele punten gewijzigd. De tekst bestaat in grote lijnen uit drie delen. In het eerste deel wordt de opzet van het onderzoek uiteengezet (Hoofdstuk 1), waarna de delfstofexploratie wordt behandeld (Hoofdstuk 2) en het structurele raamwerk (Hoofdstuk 3). Hierna volgt een lithostratigrafische beschrijving van de gesteentevoorkomens (Hoofdstukken 4 - 13) en de geologische geschiedenis van het kaartbladgebied (Hoofdstuk 14). Bij de beschrijving van de lithostratigrafie is de nadruk gelegd op de verbreiding van en de variatie binnen de verschillende groepen, formaties en laagpakketten. Deze wordt gerelateerd aan het structurele raamwerk in het kaartbladgebied. Per hoofdstuk wordt een paragraaf gewijd aan het afzettingsmilieu en de paleogeografie. Tenslotte wordt extra aandacht besteed aan een aantal belangrijke reservoirgesteenten (de Limburg Groep, de Boven-Rotliegend Groep, de Z2 en Z3 Carbonaat, de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep en de Rijnland Groep) en het gasmoedergesteente in de Limburg Groep en het oliemoedergesteente in de Nedersaksen Groep.

De geologische opbouw van het Kaartblad VI, Veendam-Hoogeveen, wordt in sterke mate bepaald door de ligging van het kaartbladgebied aan de westrand van het Nedersaksisch Bekken, een langgerekt O-W georiënteerd sedimentatiebekken dat zich tot ver in Duitsland uitstrekte. Ten westen van het gebied bevond zich het Friesland Platform. Dit platform en het voornoemde bekken vormden zich reeds in de Trias en het bekken vertoonde een sterke daling tot in het Krijt. Diktes en verbreiding van de oudere eenheden zijn niet door dit bekken bepaald, maar door het N-Z gerichte Eems Diep (Kaarten 1 & 2, Hoofdstuk 4-6). De invloed van het Nedersaksisch Bekken op de opbouw van het kaartbladgebied blijkt duidelijk uit de diepte- en diktekaarten van Altena, Nedersaksen en Rijnland Groep (Kaarten 8-13). Tevens wordt uit deze kaarten duidelijk dat het Nedersaksisch Bekken zeker geen uniform geheel vormde, maar uit een aantal kleinere deelbekkens bestond. Bij deze onderverdeling speelt de mobiliteit

van het onderliggende Zechstein zout een grote rol; in de geologische geschiedenis is dit zout geaccumuleerd in verschillende opwelvingen en op sommige plaatsen zelfs door het sedimentpakket heengebroken (Kaarten 4, 5, 20 & 21). Lokaal kunnen hierdoor accumulaties van steenzout op geringe diepte onder het oppervlak worden aangetroffen.

Het kaartbladgebied is rijk aan delfstoffen; er wordt uit vele geologische niveaus gas gewonnen (figuur 2.2). Daarnaast vindt in het gebied ook ondergrondse gasopslag plaats. Uit het Schoonebeek olieveld wordt momenteel geen olie meer gewonnen; wel bevindt zich in dit veld nog een interessante hoeveelheid olie. Het doelmatig winnen hiervan in de toekomst vormt een grote technologische uitdaging. Naast koolwaterstoffen worden voorts ook steenzout en kalium-magnesiumzouten gewonnen in het gebied. Voor toekomstige gebruik van de ondergrond zijn in het gebied een breed scala aan overige toepassingen geïnventariseerd (Hoofdstuk 15), waaronder winning van aardwarmte en thermaal water. Voorts kan de ondergrond van het gebied worden aangewend voor opslag van verschillende stoffen.

Het TNO-NITG 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 van belang voor maatschappijen die actief zijn op het terrein van delfstoffenexploratie en -winning, en daarnaast ook voor de verschillende overheidsinstellingen en andere geïnteresseerden.

Naast de in het colofon genoemde medewerkers, die inhoudelijk verantwoordelijk zijn voor dit kaartblad, zijn bij het tot stand komen ervan nog andere medewerkers van het TNO-NITG betrokken geweest. Hun inzet wordt bijzonder op prijs gesteld. Veel dank is verschuldigd aan de maatschappijen waarvan exploratiegegevens voor deze kartering zijn gebruikt.

Utrecht, november 2000

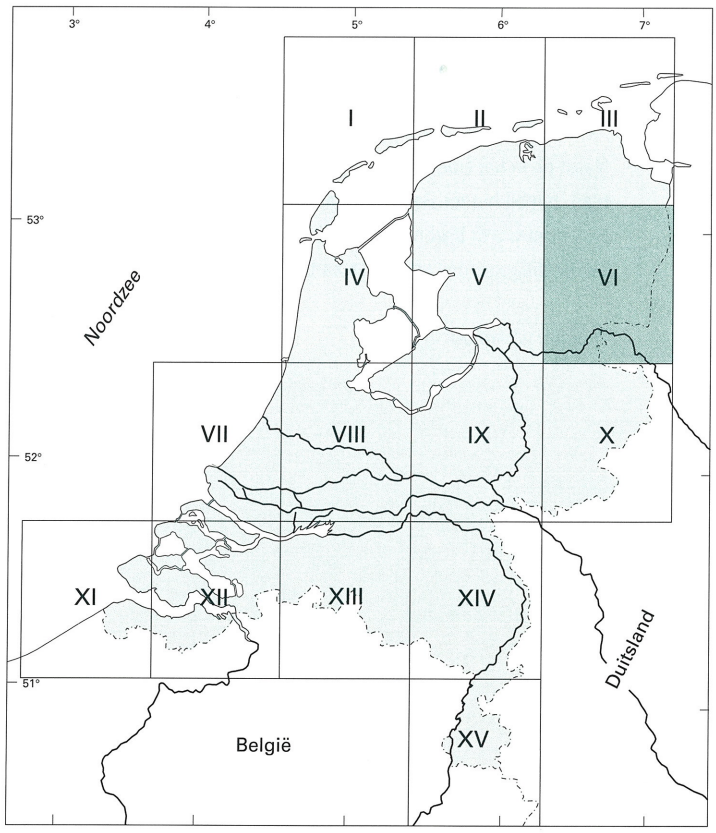
1 Opzet van het onderzoek

1.1 Ligging van het studiegebied

Het kaartbladgebied omvat het zuidelijke deel van de provincie Groningen, de provincie Drenthe en het noordoostelijke deel van de provincie Overijssel. Het gebied grenst aan de Duitse deelstaat Nedersaksen (fig. 1.1).

1.2 Gegevensbestand

De kartering van de dit kaartbladgebied is voornamelijk gebaseerd op de gegevens die door de industrie zijn verzameld in het kader van de opsporing en winning van delfstoffen. Er is voor de kartering hoofdzakelijk gebruik gemaakt van 3D seismiek (fig. 1.2; appendix A). Daarnaast zijn er gegevens uit 217 boringen gebruikt (fig. 1.3; appendix B).



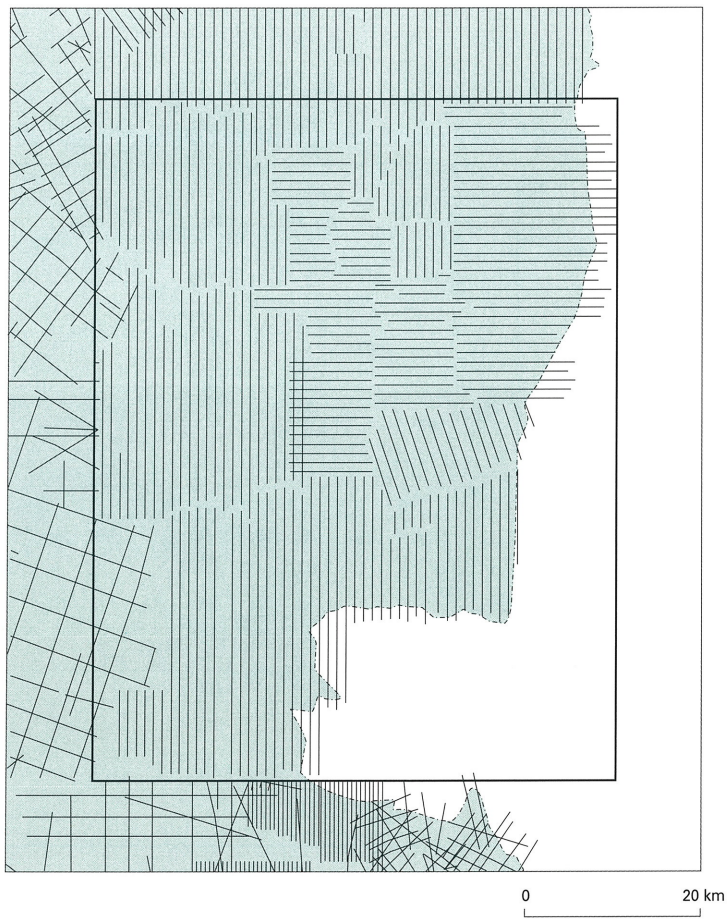
Figuur 1.1 Kaartbladindeling van de regionale kartering van de diepe ondergrond van Nederland en de ligging van kaartblad VI.

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

1.3 Geologisch onderzoek

Het geologisch onderzoek richtte zich op de lithostratigrafische, structureel-geologische en sedimentologische analyse van de binnen het kaartblad aanwezige gesteenten (fig. 1.4). Hierbij werd gebruik gemaakt van seismische gegevens en boringen. Naast deze gegevens is gebruik gemaakt van literatuur. De meest relevante regionaal-geologische publicaties zijn Betz et al. (1987), Ziegler (1990) en Baldschuhn et al. (1991, 1996, 1999). Voor een beter begrip van de geologische structuur is veelvuldig over de landsgrens gekeken.

Naam en ouderdom van de lithostratigrafische eenheden zijn, tenzij specifiek vermeld, conform de stratigrafische nomenclatuur (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993-1997). In figuur 1.5 wordt een overzicht van de door het TNO-NITG gehanteerde etagenamen getoond die in deze toelichting worden gebruikt.

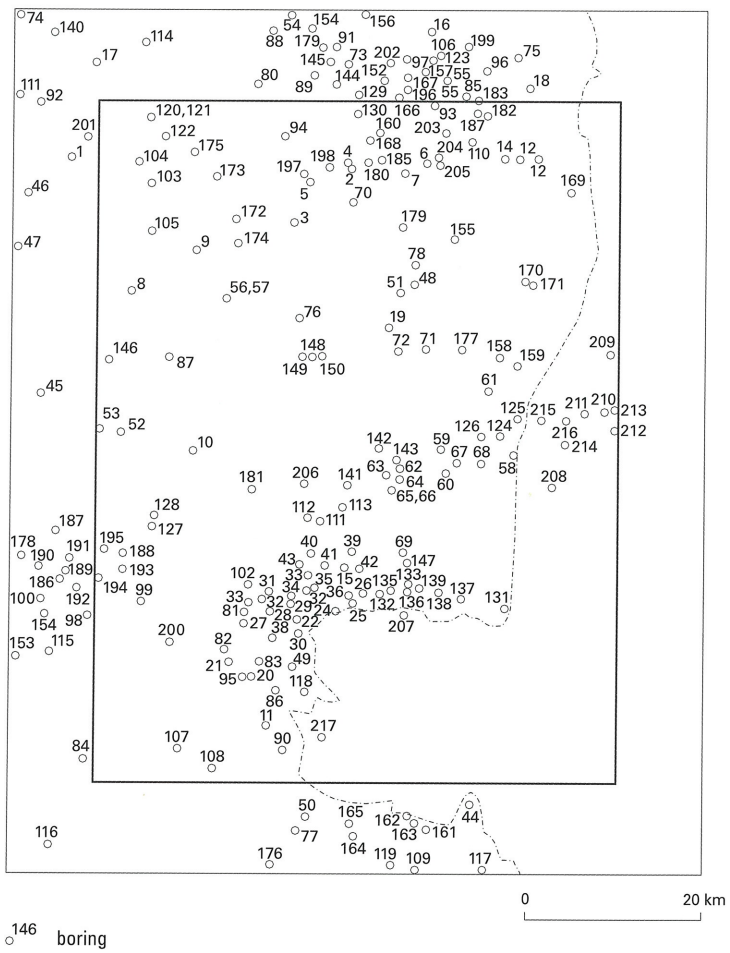


Figuur 1.2 Locatiekaart van de voor de kartering gebruikte seismische lijnen. Appendix A geeft nadere informatie omtrent de ouderdom en eigenaar van de verschillende surveys.

1.4 Seismische kartering

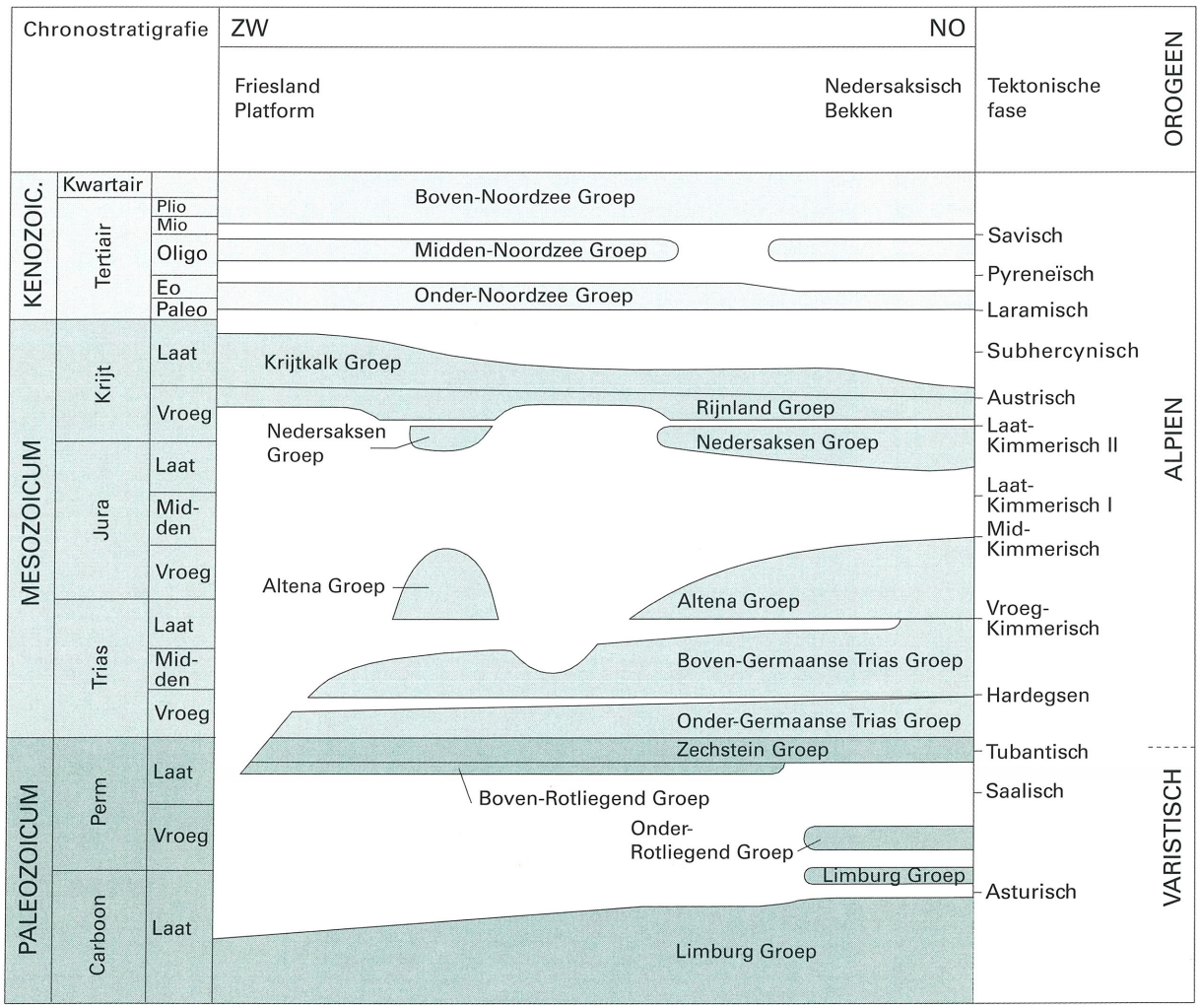
De kartering is voornamelijk uitgevoerd met 3D-seismiek en richtte zich met name op de structureel-geologische opbouw. Ruim 95% van het kaartbladgbied is bedekt met 3D-survey's (fig. 1.2; appendix A). Per 3D-survey is iedere veertigste lijn geïnterpreteerd, zodat een seismische bedekking van 1 bij 1 km bereikt is. In totaal is ruim 3700 km^2 3D seismiek geïnterpreteerd bij de kartering.

De gekarteerde reflectoren vormen de grensvlakken tussen de lithostratigrafische eenheden (groepen en formaties). Calibratie van de seismische gegevens is uitgevoerd middels akoestische logs en putschietgegevens. De tijd-diepte omzetting van de seismische gegevens is per laag uitgevoerd (de 'layer-cake methode'). Hiervoor is per laag een lineair verband aangenomen tussen de snelheid en de diepte van de laag (tabel 1.1a). Een uitzondering hierop wordt gemaakt voor de Zechstein Groep. Door de specifieke lithologische opbouw van deze groep is voor een lineair verband tussen de dikte en het tijdsinterval gekozen (tabel 1.1b).



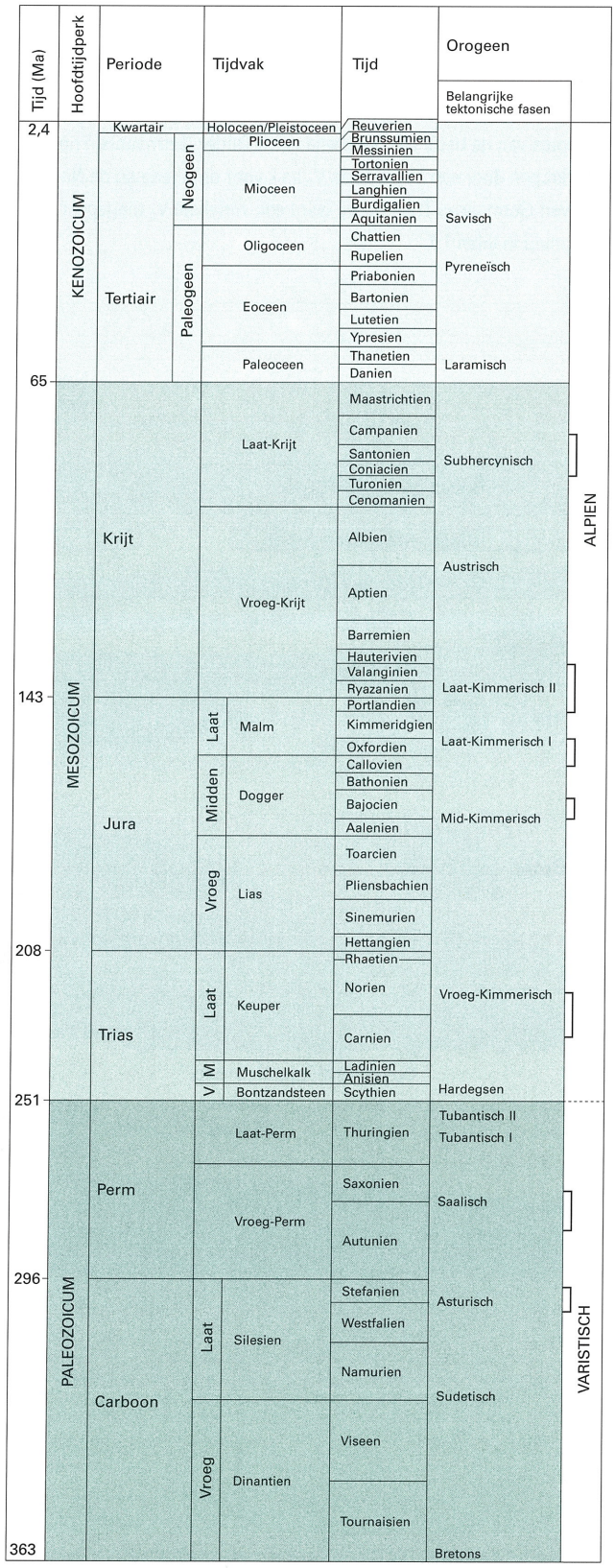
Figuur 1.3 Locatiekaart van de boringen die bij de kartering zijn gebruikt. Voor de nummering wordt verwezen naar Appendix B waar de naam, eigenaar, einddiepte en ouderdom van de boringen worden vermeld.

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. De parameters van de landelijke snelheidsverdeling zijn bepaald uit akoestische gegevens van 61 boringen die over heel Nederland verspreid liggen. Toepassing van deze snelheidsverdeling leidde tot grote afwijkingen in de dieptes van de basis van de Altena en de Onder-Germaanse Trias Groep. Betere resultaten werden verkregen door een aangepaste V_0 en k voor de Altena en de Nedersaksen Groep; voor de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep werd een variabele V_0 toegepast. De toegepaste snelheidsverdeling staat vermeld in tabel 1.1.



Figuur 1.4 Schema van de lithostratigrafische eenheden en de voor de geologische ontwikkeling van het kaartbladgebied belangrijke tektonische fasen.

Figuur 1.5 Geologische tijdtabel zoals in de toelichting gehanteerd. De in de tekst genoemde tektonische fasen zijn in de figuur aangegeven.



Tabel 1.1 Toegepaste snelheidsverdelingen

a. De gehanteerde snelheidsverdeling is gebaseerd op $V_z = V_0 + k.z$
V_z: gemiddelde snelheid op diepte z (m/s)
V_o: theoretische snelheid op diepte z=0 (m/s)
k: specifieke constante (1/s)
z: diepte (m)

Eenheid	V_0	*k*
Noordzee Supergroep	1696	0,49
Krijtkalk Groep	2092	1,08
Rijnland Groep	2020	0,63
Nedersaksen Groep	2285	0,57
Altena Groep	2093	0,48
Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep	2293-2950	0,69

b. De dikte van de Zechstein Groep is gebaseerd op $d = (V_h * \Delta t) + c$

d = dikte (m)
V_h= intervalsnelheid haliet (4402 m/s)
Δt = tijdsinterval Zechstein (s)
c = constante (25,7 m)

1.5 Biostratigrafisch onderzoek

Ter ondersteuning van het geologisch onderzoek en de geofysische kartering is aanvullend micropaleontologisch en palynologisch onderzoek verricht aan trajecten van de Limburg, de Altena, de Nedersaksen, de Rijnland en de Krijtkalk Groep. Tevens stonden relevante oudere biostratigrafische rapporten ter beschikking, waarvan de resultaten in de kaarten en toelichting verwerkt zijn.

1.6 Petrofysisch onderzoek

Het kaartbladgebied heeft een grote verscheidenheid aan olie- en gasvoerende gesteenten (zie paragraaf 2.1.1). Er is petrofysisch onderzoek verricht aan de zandstenen van de Limburg, de Boven-Rotliegend, de Onder-Germaanse Trias, de Boven-Germaanse Trias en de Rijnland Groep en aan kalkstenen en dolomieten van de Zechstein Groep. De petrofysische eigenschappen zijn bepaald uit boorgatmetingen. Hieruit zijn de porositeit, de watersaturatie en het gehalte aan koolwaterstoffen berekend. De berekeningen zijn gecalibreerd aan kernanalyse-gegevens. Bij de petrofysische evaluatie is, met uitzondering van de Zechstein Groep, gebruik gemaakt van het *single porosity model* met de density log als porositeits-log. De Gamma-Ray log dient hierbij als klei-indicator.

Voor de evaluatie van de Zechstein Groep is gebruik gemaakt van een complex-lithologymodel dat speciaal ontwikkeld werd voor de petrofysische evaluatie van kalksteen/dolomiet reservoirs.
De porositeit en het dolomiet-, kalksteen- en anhydrietgehalte worden afgeleid uit logcurve-vergelijkingen (density, sonic en neutron). Vervolgens wordt de effectieve porositeit berekend. Daarna volgt het dolomietgehalte en tenslotte worden de resterende gehaltes berekend.

Van de Limburg Groep zijn acht boringen in het zuidelijke deel van het kaartbladgebied petrofysisch geëvalueerd (appendix C). In drie boringen hiervan zijn de zandstenen van de Limburg Groep gasvoerend aangetroffen (appendix D). In paragraaf 4.5 wordt hierop ingegaan.

Reservoirgesteenten van de Boven-Rotliegend Groep zijn in dertien boringen geëvalueerd (appendix E). In tien boringen hiervan werden de zandstenen gasvoerend aangetroffen (appendix F). In paragraaf 6.3 wordt deze evaluatie besproken.

Van de Zechstein Groep (Z2 en Z3 Carbonaat) werden vijftien boringen geëvalueerd (appendix G). In vijf van deze boringen waren de carbonaten gasvoerend (appendix H). Paragraaf 7.3 gaat op deze evaluaties in.

Zandstenen van de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep werden in vijf boringen geëvalueerd (appendix I). In drie boringen waren deze zandstenen gasvoerend (appendix J). In paragraaf 8.5 wordt op de evaluaties ingegaan.

Zandstenen van de Rijnland Groep tot slot werden in tien boringen geëvalueerd (appendix K). Deze zandstenen waren in één geval olievoerend en in één ander geval gasvoerend (appendix L). Paragraaf 11.3 gaat op deze evaluaties in.

1.7 Geochemisch onderzoek

In het kader van het geochemisch onderzoek zijn in dit kaartbladgebied vijftien boringen geanalyseerd. Hierbij is de inkoling (vitriniet gehalte) van de monsters gemeten en de begravinsgeschiedenis gemodelleerd.
De werkmethode, de resultaten van de metingen en de uitgevoerde modelleringen worden behandeld in paragraaf 14.3.

1.8 Kaarten en profielen

De resultaten van de kartering zijn weergegeven op een reeks dieptekaarten, diktekaarten en afgedekte kaarten op een schaal van 1:250.000. Dieptekaarten zijn gemaakt van de basis van de Onder-Rotliegend, de Boven-Rotliegend, de Zechstein, de Onder-Germaanse Trias, de Altena, de Nedersaksen, de Rijnland en de Krijtkalk Groep, als van de Noordzee Supergroep en de Boven-Noordzee Groep. Bovendien is er van de top van de Zechstein Groep een dieptekaart gemaakt. Vooral de dieptekaarten van de bases van de Boven-Rotliegend, de Zechstein en de Onder-Germaanse Trias Groep geven een indruk van de structurele trend van het gebied. Deze is overwegend WNW-OZO en N-Z gericht. Van de belangrijkste discordanties, aan de basis van de Nedersaksen en de Rijnland Groep en de Noordzee Supergroep zijn afgedekte kaarten gemaakt. Op dieptekaarten worden niet alle breuken, maar een selectie hiervan. Deze selectie heeft plaats gevonden op basis van het verzet en de lengte van het breuken en het breukbeeld.

Er zijn diktekaarten gemaakt van alle bovengenoemde stratigrafische eenheden, met uitzondering van de Onder-Germaanse Trias Groep en de Noordzee Supergroep. De Onder-Germaanse Trias Groep wordt gezamenlijk met de Boven-Germaanse Trias Groep als één kaart gepresenteerd. Voor een diktekaart van de Noordzee Supergroep dient bij de dieptekaart de hoogteligging te worden opgeteld.

Vanwege de gering dikte kon de basis van de Onder- en de Boven-Rotliegend Groep niet overal seismisch worden gekarteerd. De dieptekaart van deze groepen is gebaseerd op de seismische dieptekaart van de basis van de Zechstein Groep, waarbij een op boorgegevens gebaseerde diktegrid

van de Onder- respectievelijk de Boven-Rotliegend Groep is opgeteld (fig. 5.1 en 6.1).

Op de diepte- en diktekaarten worden geen boringen vermeld waarin in de desbetreffende groep een breuk voorkomt, of waarvan de einddiepte in deze groep is gelegen.

De afgedekte geologische kaarten van de onderkant van de Nedersaksen Groep, Rijnland Groep en Noordzee Supergroep (Kaarten 18, 19 & 20) laten de stratigrafische eenheden zien die onder de discordanties voorkomen en geven een indruk van de mate van erosie die voorafging aan de afzetting van deze groepen.

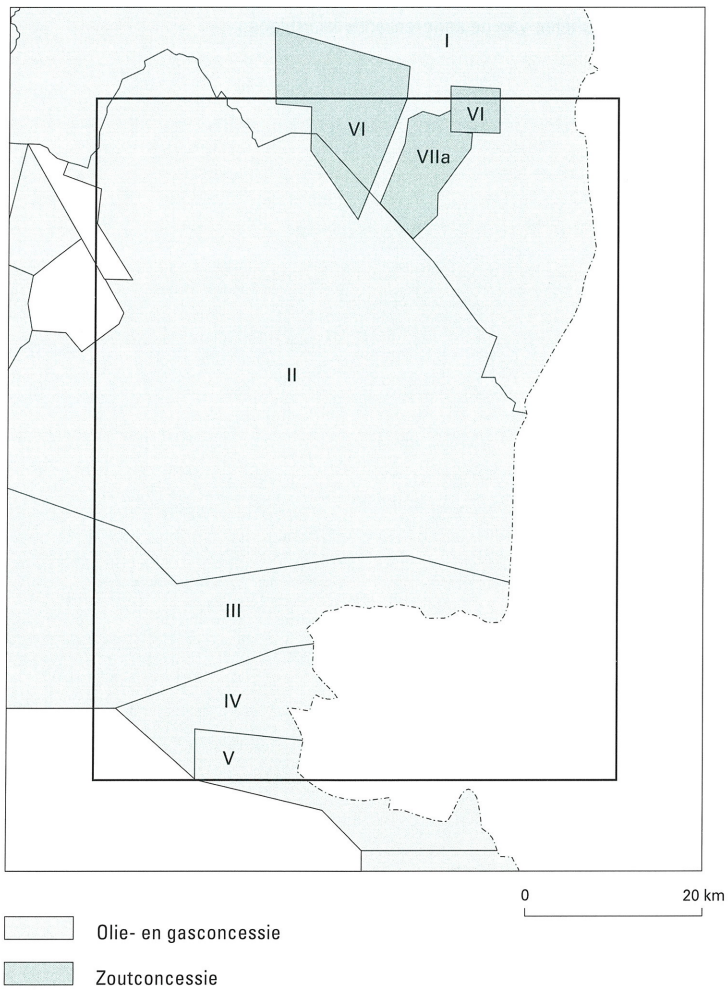
Tenslotte worden drie structurele profielen op een afzonderlijke kaart weergegeven (Kaart 21). Deze profielen, met een NW-ZO en ZW-NO oriëntatie, zijn zodanig gekozen dat zij aansluiten op de profielen van de aangrenzende kaartbladen.

2 Exploratiegeschiedenis

2.1 Inleiding

Sinds de 30-er jaren wordt in dit kaartbladgebied naar delfstoffen geëxploreerd. Er is sindsdien met succes naar olie, gas en zout gezocht. In het kaartbladgebied liggen delen van de concessiegebieden 'Drenthe', 'Groningen', 'Schoonebeek', 'Hardenberg' en 'Tubbergen' van de Nederlandse Aardoliemaatschappij Maatschappij b.v. Binnen deze concessiegebieden voor bitumina liggen voorts nog twee zoutconcessies, 'Veendam' van Nedmag Industries en 'Adolph van Nassau' van Akzo Nobel Salt b.v. (fig. 2.1).

In het kaartbladgebied zijn 979 olie- en gasboringen uitgevoerd door de Bataafsche Petroleum



Figuur 2.1 Overzichtskaart van de binnen het kaartbladgebied vallende concessiegebieden.
I Groningen
II Drenthe
III Schoonebeek
IV Hardenberg
V Tubbergen
VI Veendam
VII Adolph van Nassau
VIIa Uitbreiding Adolph van Nassau.

Maatschappij (BPM), NAM, Elf Petroland en Hardy Oil en 32 zoutboringen door Shell Delfstoffen Nederland N.V. (Billiton Delfstoffen), Noordelijke Zoutwinning, Nedmag Industries en de Koninklijke Nederlandse Zoutindustrie, thans Akzo Nobel Salt.

2.1.1 Koolwaterstoffen

In het kaartbladgebied en de onmiddellijke omgeving zijn een groot aantal olie- en gasvelden gelegen (fig. 2.2a-d).

De exploratie van koolwaterstoffen in het kaartbladgebied startte in 1935 met een gravimetrische survey door de Bataafsche Petroleum Maatschappij (BPM). Om een aantal van de gevonden anomalieën nader te onderzoeken werden er, vanaf 1937, 12 kernboringen uitgevoerd; de Noord-Nederland boringen. Deze boringen werden met apparatuur van beperkte capaciteit uitgevoerd en daarom werd de Krijtkalk Groep niet doorboord. Ondanks de waardevolle geologische informatie die deze boringen opleverden, kunnen deze niet als valide testen voor de waargenomen gravimetrische anomalieën worden gezien.

2.1.1.1 Aardolie

De olie-exploratie werd tijdens de Duitse bezetting ter hand genomen door het consortium BPM/Elwerath. De boringen waren vooral gericht op olievoorkomens in de Onder-Krijt zanden, naar analogie van de ontdekkingen in het Duitse Emsland (o.a. Dalum, Lingen, Georgsdorf; Lögters, 1951). Ook was door de gasvondst bij Bentheim (1938) reeds bekend dat diepere eenheden, zoals het Zechstein, gas kunnen bevatten, maar hiervoor bestond in de oorlogsjaren geen belangstelling.

Na een aantal droge boringen werd in 1944 olie in de Bentheim Zandsteen aangetroffen, in wat later bekend zou worden als het Schoonebeek veld. Dit veld is tot op heden het grootste op land gelegen olieveld in Noordwest-Europa met een totale reserve van 165 miljoen m^3. Vrijwel tegelijkertijd werd iets zuidelijker het Duitse deel van het veld aangeboord (Emlichheim). De ontwikkeling van het veld werd pas na de Tweede Wereldoorlog serieus in gang gezet, nadat Shell in 1947 met Esso de Nederlandsche Aardolie Maatschappij (NAM) had opgericht. In 1948 verkreeg de NAM de concessie 'Schoonebeek'.

Vanwege het unieke karakter van dit olieveld volgen nog enkele gegevens (Mulder, 1950b; Visser & Sung 1958): het veld bevindt zich op een diepte van 800 tot 950 m (Olie-Water Contact op een diepte van 880 m) en strekt zich O-W uit over een lengte van 17 km. Het veld bestaat uit twee compartimenten, een gas- en een watergedreven deel. Het API gehalte van de olie is 25°. Uit 599 putten in het veld is circa 40 miljoen m^3 olie geproduceerd; er resteert momenteel nog ongeveer 120 miljoen m^3. In 1957 werd de maximale dagelijkse olieproductie van 3700 m^3 bereikt. De oliewinning is in 1997 om economische redenen stopgezet. Onder het olieveld bevindt zich tevens een gasveld in de Z2 Carbonaat (fig. 2.2c, d).

2.1.1.2 Aardgas

De NAM heeft na de oorlog ook de exploratie naar aardgas ter hand genomen. Tien jaar na de ontdekking van het Bentheim-veld werd in de boring Coevorden-2 de Z2 Carbonaat gasvoerend aangetroffen. In 1949 werd vervolgens het gasveld De Wijk ontdekt, gevolgd door de velden Staphorst en Wanneperveen. Reservoirgesteenten van deze gasvelden bevinden zich in diverse formaties, waaronder oölieten in de Onder-Bontzandsteen, de zandsteen in de Volpriehausen, de Solling en de Vlieland Zandsteen Formatie, kalksteen in de Muschelkalk Formatie en tuffiet in de Basale Tuffiet van Dongen. Deze ontdekkingen leidden tot een westelijke uitbreiding van de 'Schoonebeek' concessie.

De exploratie naar aardgas in het kaartbladgebied kreeg een grote impuls door de ontdekking van het

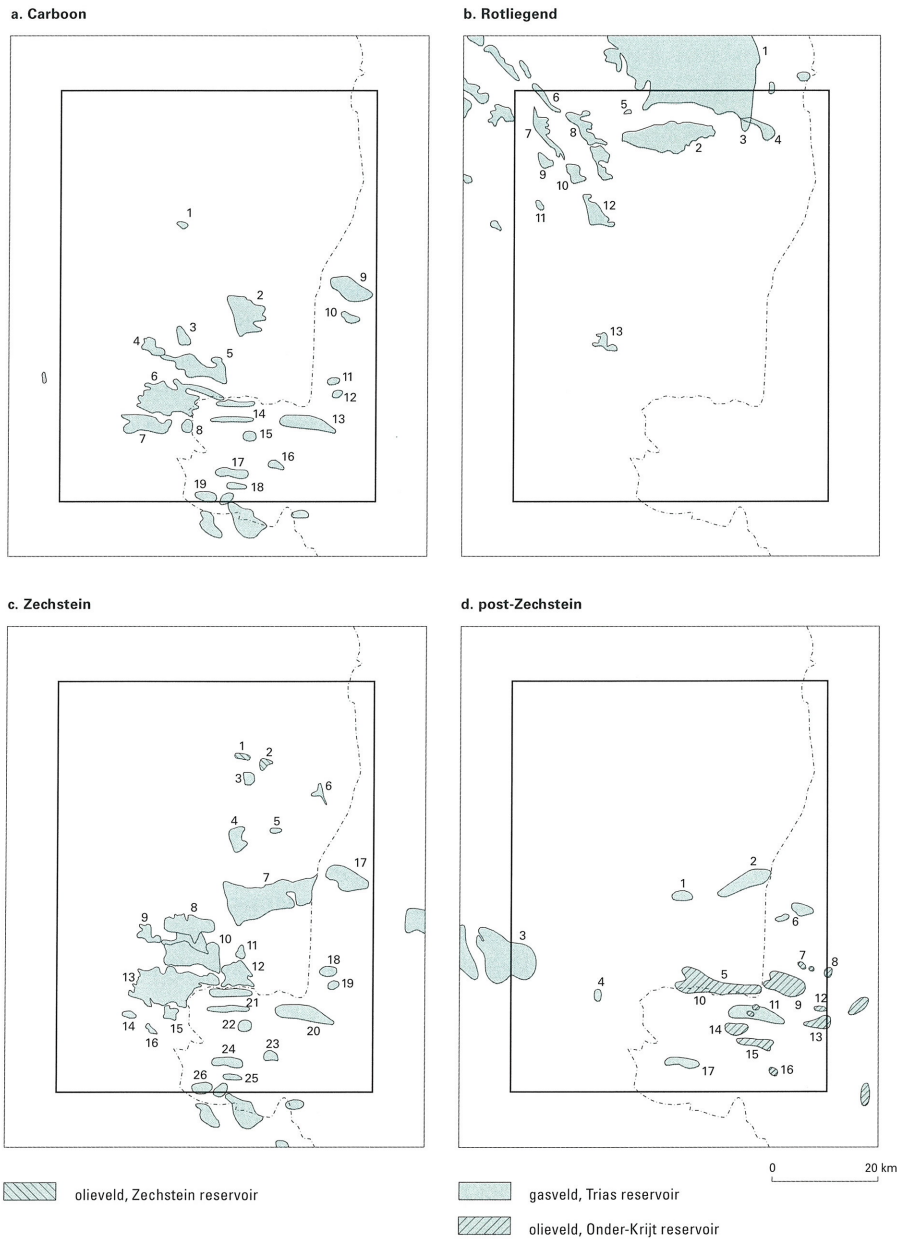
Figuur 2.2 Overzichtskaart van de aangetroffen koolwaterstof voorkomens per stratigrafische eenheid. Velden binnen het kaartbladgebied en Duitse velden zijn benoemd. Voor overige veldnamen wordt verwezen naar de omliggende kaartbladen (legenda zie volgende bladzijde).

a. Carboon velden:
1. Grollo; 2: Emmen; 3: Oosterhesselen; 4: Geesbrug; 5: Dalen; 6: Coevorden; 7: Hardenberg; 8: Den Velde. Duitse velden: 9: Rütenbrock; 10: Fehndorf; 11: Annaveen; 12: Emslage; 13: Adorf; 14 Emlichheim-Nord en Emlichheim; 15: Kalle; 16: Esche; 17: Ratzel; 18: Uelsen; 19: Wielen.

b. Rotliegend velden:
1: Groningen; 2: Annerveen; 3: Oude Pekela; 4: Blijham; 5: Midlaren; 6: Roden; 7: Norg; 8: Vries; 9: Norg Zuid; 10: Assen; 11: Appelscha; 12: Eleveld; 13: Geesbrug.

c. Zechstein velden:
1: Gieterveen; 2: Stadskanaal; 3: Gasselternijveen; 4: Exloo; 5: Valtermond; 6: Vlagtwedde; 7: Emmen; 8: Oosterhesselen; 9: Geesbrug; 10: Dalen; 11: Emmen-Nieuw Amsterdam; 12: Schoonebeek; 13: Coevorden; 14: Collendoornerveen; 15: Den Velde; 16: Hoogeweg. Duitse velden: 17: Rütenbrock; 18: Annaveen; 19: Emslage; 20: Adorf; 21 Emlichheim en Emlichheim-Nord; 22: Kalle; 23: Esche; 24: Ratzel; 25: Uelsen; 26: Wielen.

d. post-Zechstein velden:
1: Sleen; 2: Roswinkel; 3: De Wijk; 4: Coevorden; 5: Schoonebeek. Duitse velden: 6: Fehndorf; 7: Hebelermeer; 8: Meppen; 9: Rühle; 10: Emlichheim; 11: Adorf; 12: Varloh; 13: Lingen; 14: Scheerhorn; 15: Georgsdorf; 16: Hohenkörben; 17: Ratzel. Gasvelden bevinden zich in Trias reservoirs, olievelden in Onder-Krijt reservoirs.



Groningen veld in 1959. Het zuidelijke deel van dit veld ligt binnen het kaartbladgebied. In 1963 werd het Annerveen veld ontdekt, met $75*10^9$ m^3 GIIP het op twee na grootste gasveld in Nederland (Veenhof, 1996). Op grond hiervan werd in 1969 de concessie 'Drenthe' verleend aan de NAM.

Veertig jaar exploratie heeft tot de ontdekking van een groot aantal olie- en gasvelden in het gebied geleid. Deze velden komen in verschillende reservoirs voor. In de noordelijke helft zijn de reservoirs overwegend in zandstenen van de Boven-Rotliegend Groep (fig. 2.2b). In de oostelijke helft bevinden zich de gasvelden in de Zechstein Groep, naast twee olievoorkomens (Stadskanaal en Gieterveen). In het zuidelijke deel van het kaartbladgebied zijn de gasvelden zowel in de Zechstein als de Limburg Groep gesitueerd (fig. 2.2a en c). Tevens zijn hier een aantal ontdekkingen in zandstenen van de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep gedaan in Sleen, Roswinkel en De Wijk. Bij de boring Sleen-2 (1965) deed zich een voor Nederlandse begrippen grote calamiteit voor: door ontsnapping van het gas rondom de boorpijp ontstond aan de oppervlakte een grote inzakkingskrater, waarin de gehele boortoren verdween (Milius & Van der Vlugt, 1967; Brouwer & Coenen, 1968).

Inmiddels zijn er in het kaartbladgebied meer dan 50 velden in zeven verschillende stratigrafische eenheden gevonden. Naast gaswinning vindt er sinds 1997 ondergrondse gasopslag plaats in het Norg veld (zie ook Hoofdstuk 14).

Als gevolgen van gaswinning kunnen, naast bodemdaling, de aardbevingen genoemd worden die sinds 1986 regelmatig optreden in de omgeving van o.a. Eleveld en Roswinkel. Dit gebied staat te boek als een aseismisch gebied. Daarom wekte het optreden van aardbevingen de nodige beroering. Om een beter inzicht in de mechanismen van de bevingen in Noord-Nederland te krijgen werden er meerdere seismometers geplaatst in het gebied. Deze maken duidelijk dat er vele aardbevingen in het gebied optreden, maar dat de meeste hiervan niet voelbaar zijn. Multidisciplinair onderzoek legde een relatie tussen het optreden van aardbevingen en gaswinning. De magnitude van de sterkste aardbevingen bedraagt 2 tot 3,4 op de schaal van Richter. Door de geringe haarddiepte van de aardbevingen (tussen de 1 en 3 km) hebben ze een relatief grote intensiteit (de aan de oppervlakte waargenomen sensatie, schaal van Mercali). Vooral de bevingen in de omgeving van Roswinkel hebben grote magnitudes. Ondanks onderzoek door verschillende instituten heeft men nog geen eensluidende verklaring hiervoor gevonden (Begeleidingscommissie Onderzoek Aardbevingen, 1993). Een actueel overzicht van de aardbevingen is te vinden op http://www.knmi.nl.

2.1.2 Zout

Op grond van de resultaten van de gravimetrische survey van de BPM in Drenthe had men reeds eind dertiger jaren het vermoeden dat zich binnen het kaartbladgebied een aantal zoutkoepels en zoutkussens zou kunnen bevinden. De aanwezigheid hiervan werd aangetoond in drie boringen in de Schoonlo zoutpijler (Mulder, 1950a).

De zoutexploratie ving in 1951 aan, toen in opdracht van de Koninklijke Nederlandse Zoutindustrie (KNZ) door de NAM drie boringen werden uitgevoerd in de zoutpijler Winschoten. Op grond hiervan werd in 1954 de 'Adolph van Nassau' concessie verleend aan de KNZ. In 1967 werd deze concessie in zuidelijke richting uitgebreid, nadat een boring in de zoutpijler Zuidwending steenzout aantoonde (Harsveldt, 1980). In deze concessie zijn inmiddels meer dan 20 zoutboringen gezet. Door Akzo Nobel Salt b.v. wordt hier jaarlijks circa 2500 kiloton steenzout uit de Z2 (Stassfurt) Formatie gewonnen.

Op grond van de resultaten van de door Billiton uitgevoerde exploratieboringen werd in 1980 de concessie 'Veendam' verleend aan de Noordelijke Zoutwinning B.V.. In het zoutkussen Veendam werd in

de Z3 (Leine) Formatie een uniek voorkomen van magnesiumrijke lagen aangetroffen (Coelewij et al., 1978). Thans worden deze zouten gewonnen door Nedmag Industries. De jaarlijkse productie (1997) bedraagt circa 180 ton Kalium-Magnesiumzout, waarvan 145 ton magnesiumzout. Magnesiumrijke lagen zijn binnen het kaartbladgebied in meerdere zoutkussens middels boringen aangetroffen. In beide concessies vindt de zoutwinning plaats door oplossingsmijnbouw.

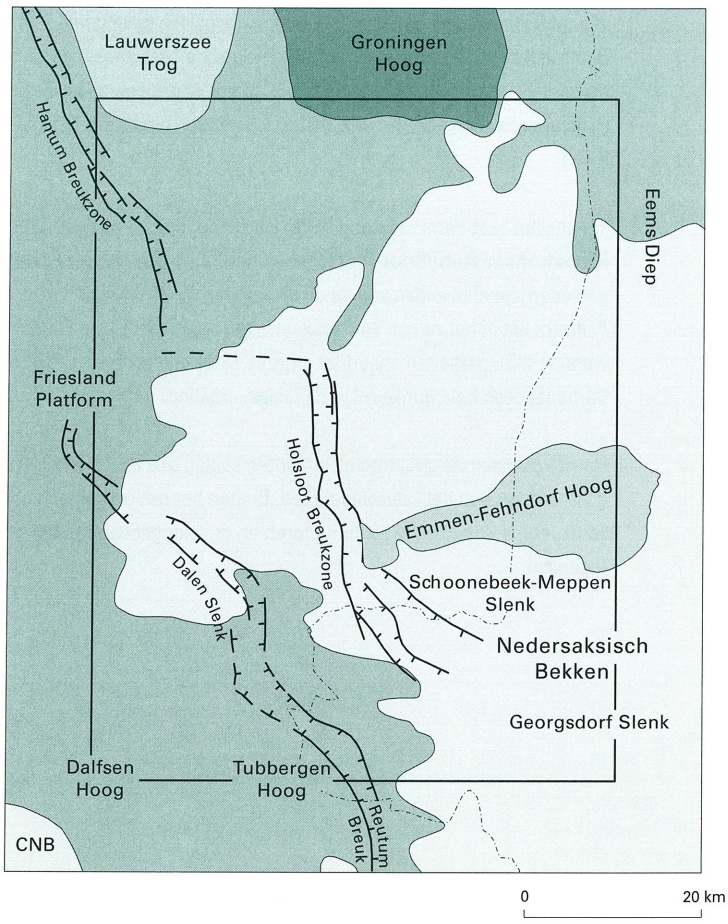
3 Structurele raamwerk

De geologische geschiedenis wordt beschreven aan de hand van de binnen het kaartbladgebied onderscheiden structurele elementen (fig. 3.1). Deze eenheden bevatten, in meer of mindere mate, Varistische elementen die tijdens latere tektonische fasen zijn gereactiveerd en gemodificeerd.

Het **Nedersaksisch Bekken** is een van de meest opvallende eenheden binnen het kaartbladgebied. Het bekken kenmerkt zich door differentiële daling tijdens de Laat-Jura en het Vroeg-Krijt. De daling werd hierbij sterk bepaald door differentiële zoutbeweging. Tijdens de Subhercynische fase (Coniacien-Campanien) vond bekkeninversie plaats. Het kaartbladgebied bevond zich aan de noordwestrand van dit bekken, waardoor de dalings- en inversiebewegingen hier gering zijn geweest in vergelijking met de bewegingen zoals waargenomen in Duitsland. Binnen het bekken zijn een aantal O-W georiënteerde depocentra en hogen te onderscheiden die zich vooral in het zuidoosten van het kaartbladgebied manifesteren. De **Schoonebeek-Meppen Slenk**, de **Georgsdorf Slenk** en het **Emmen-Fehndorf Hoog** zijn hiervan de belangrijkste.

Het **Friesland Platform** en het **Groningen Hoog** vormden de hogen ten noorden, westen en zuiden van het Nedersaksisch Bekken. Tijdens het Valanginien en Hauterivien hebben deze hogen als brongebied voor sedimenten gefungeerd. Tijdens het Hauterivien tot Aptien werden deze vervolgens door sediment bedekt. De hogen kenmerken zich door een relatief sterke daling tijdens de

Figuur 3.1 Structurele eenheden in het kaartbladgebied.



Subhercynische fase. De erosie op de hogen heeft ingesneden tot in de afzettingen van de Onder- of Boven-Germaanse Trias Groep, lokaal tot in de Zechstein Groep. In het zuiden van het kaartbladgebied wordt een tweetal sub-elementen herkend binnen het **Friesland Platform**, namelijk het **Tubbergen Hoog** en het Dalfsen Hoog. Het Dalfsen Hoog is gekenmerkt door het dagzomen van het Carboon onder de Rijnland Groep (Kaart 19). Het **Tubbergen Hoog**, ten oosten van het Dalfsen Hoog, is het meest zuidoostelijke deel van het Friesland Platform (fig. 3.1). De ten westen en noorden van het Nedersaksisch Bekken gelegen hogen worden ook wel **Noord-Nederlands Hoog** genoemd. Naast de voornoemde hogen omvat deze eenheid ook de Lauwerszee Trog.

De **Lauwerszee Trog** is een Tertiair dalingsgebied gerelateerd aan de Hantum Breukzone. Ook tijdens het Laat-Perm en het Vroeg-Krijt onderscheidde dit gebied zich reeds door een iets sterkere daling van het Groningen Hoog en het Friesland Platform. De **Hantum Breukzone** vormt de westelijke begrenzing van de trog. De Hantum Breukzone vormt een onderdeel van een Tertiair breuksysteem waar voorts ook de **Holsloot Breukzone**, de **Dalen Slenk** en de **Reutum Breuk** toe behoren.

Het **Eems Diep**, in het oosten van het kaartbladgebied, is een markante structuur. In de loop van de geologische geschiedenis heeft de structuur echter sterke modificatie ondergaan. Tijdens het Westfalien C tot vermoedelijk Stefanien trad sterke daling op in dit toen N-Z georiënteerde gebied. Het gebied kent vulkanische activiteit gedurende het Vroeg-Perm, terwijl het in het Laat-Perm een hoog vormt. Tijdens de Vroeg-Trias kenmerkte het gebied, met een NNO-ZZW oriëntatie, zich door dikke afzetting van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep (fig. 8.2b). Het westelijke deel van het kaartbladgebied maakte deel uit van de **Netherlands Swell** waar een door erosie in dikte gereduceerde opeenvolging van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep aanwezig is. Tijdens de Laat-Trias ontstonden een aantal breukbegrensde depressies waarin een dikke opeenvolging van sedimenten van de Keuper Formatie accumuleerde. Deze structuren hadden een N-Z oriëntatie en omvatten plaatselijk ook delen van de voormalige Netherlands Swell.

Tijdens het Laat-Perm ontstond in het kaartbladgebied een tweetal anhydrietplatforms, het **Kloosterhaar Anhydriet Platform** en het **Exloo Anhydriet Platform**. De omtrekken van deze gebieden zijn af te leiden van de diktekaart van de Z1 (Werra) Formatie (fig. 7.2a); het Kloosterhaar Platform ligt in het zuiden van het kaartbladgebied, het Exloo Platform in het oosten. Op deze platforms werden dikke pakketten anhydriet afgezet. Deze platforms speelden ook tijdens de afzetting van de Z2 Carbonaat een belangrijke rol in de faciesverdeling.

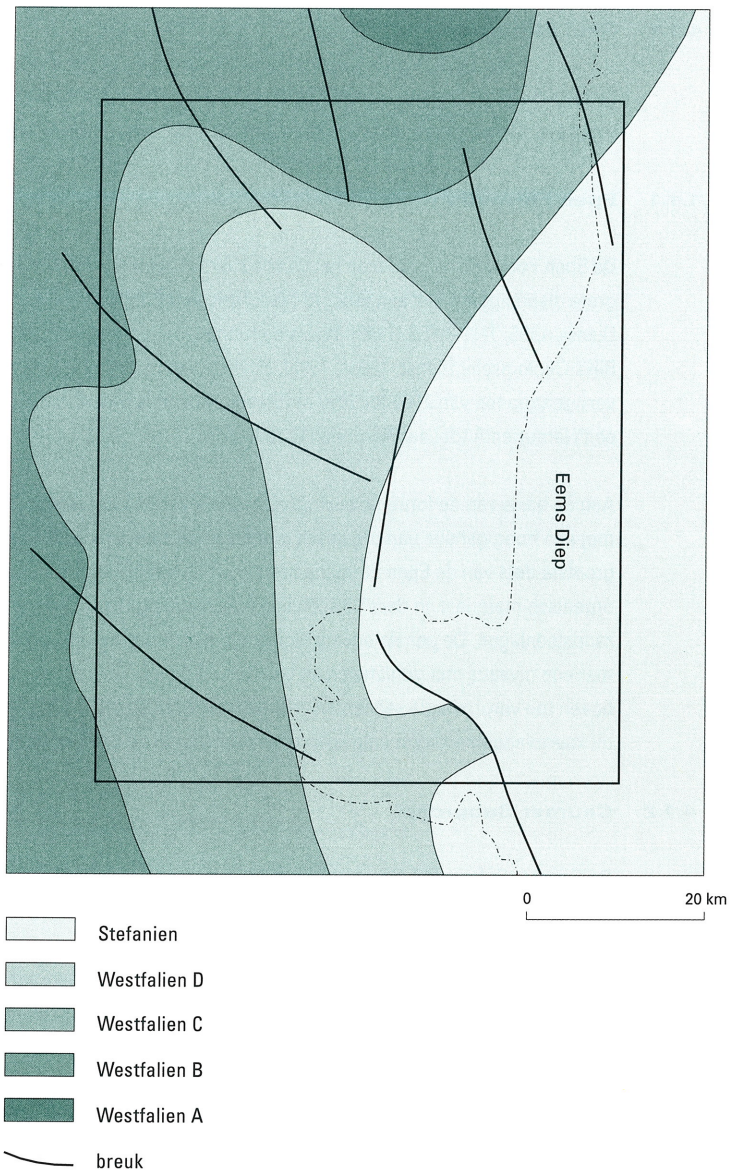
Naast voornoemde structurele elementen spelen ook zoutstructuren een grote rol in de geologische geschiedenis van het kaartbladgebied. Binnen het gebied komen een groot aantal zoutpijlers en zoutkussens voor. Op de zoutstructuren en de tektogenese van het gebied wordt in Hoofdstuk 14 nader ingegaan.

4 Limburg Groep

4.1 Statigrafie

De Limburg Groep bestaat uit een dikke opeenvolging van overwegend grijs tot zwart, maar in het jongste deel ook roodgekleurde, fijnkorrelige siliciklastische en organische sedimenten. De groep vertegenwoordigt het gehele Boven-Carboon en wordt in vier subgroepen onderverdeeld die elk een bepaalde fase vertegenwoordigen van de Laat-Carboon regressieve megasequentie. Van onder naar boven zijn dit de Geul, Caumer, Dinkel en Hunze Subgroep.

De Limburg Groep wordt in het kaartbladgebied discordant bedekt door de Onder-Rotliegend, de Boven-Rotliegend of de Zechstein Groep (Kaarten 1, 2 & 3). In het uiterste zuidwesten ligt de Rijnland Groep discordant op de groep (Kaart 18).



Figuur 4.1 Afgedekte geologische kaart van de top van de Limburg Groep.

Afzettingen van de Limburg Groep komen voor binnen het gehele kaartbladgebied. De dikte van de gehele Limburg Groep bedraagt circa 3000 m in het westen tot vermoedelijk meer dan 6000 m in het oosten. Deze sterke variatie is vooral het gevolg van de post-depositionele erosie tijdens het Laat-Carboon en Vroeg-Perm. Het kaartbladgebied omvatte toen het Nederlands Hoog en het Groningen Hoog, twee gebieden waar sterke opheffing en erosie optrad en het Eems Diep waar sterke daling optrad. Dit wordt geïllustreerd door de variatie in de ouderdom van de top van de Limburg Groep (fig. 4.1 & 4.2).

De diepte van de top van de Limburg Groep neemt in oostelijk richting toe van minder dan 2000 m in het zuidwesten tot meer dan 5200 m in het Nedersaksisch Bekken (Kaarten 1 & 2). Het breukpatroon toont een interferentie van globaal N-Z met O-W richtingen; in het noordwesten van het gebied treden daarnaast NW-ZO richtingen op. De afzettingen van de groep hebben een Namurien tot vermoedelijk Stefanien ouderdom.

4.1.1 Geul Subgroep

De Geul Subgroep bestaat overwegend uit donkergekleurde kleisteen. Koollagen ontbreken in deze subgroep. De subgroep bestaat uit de Epen Formatie en heeft een Namurien ouderdom.

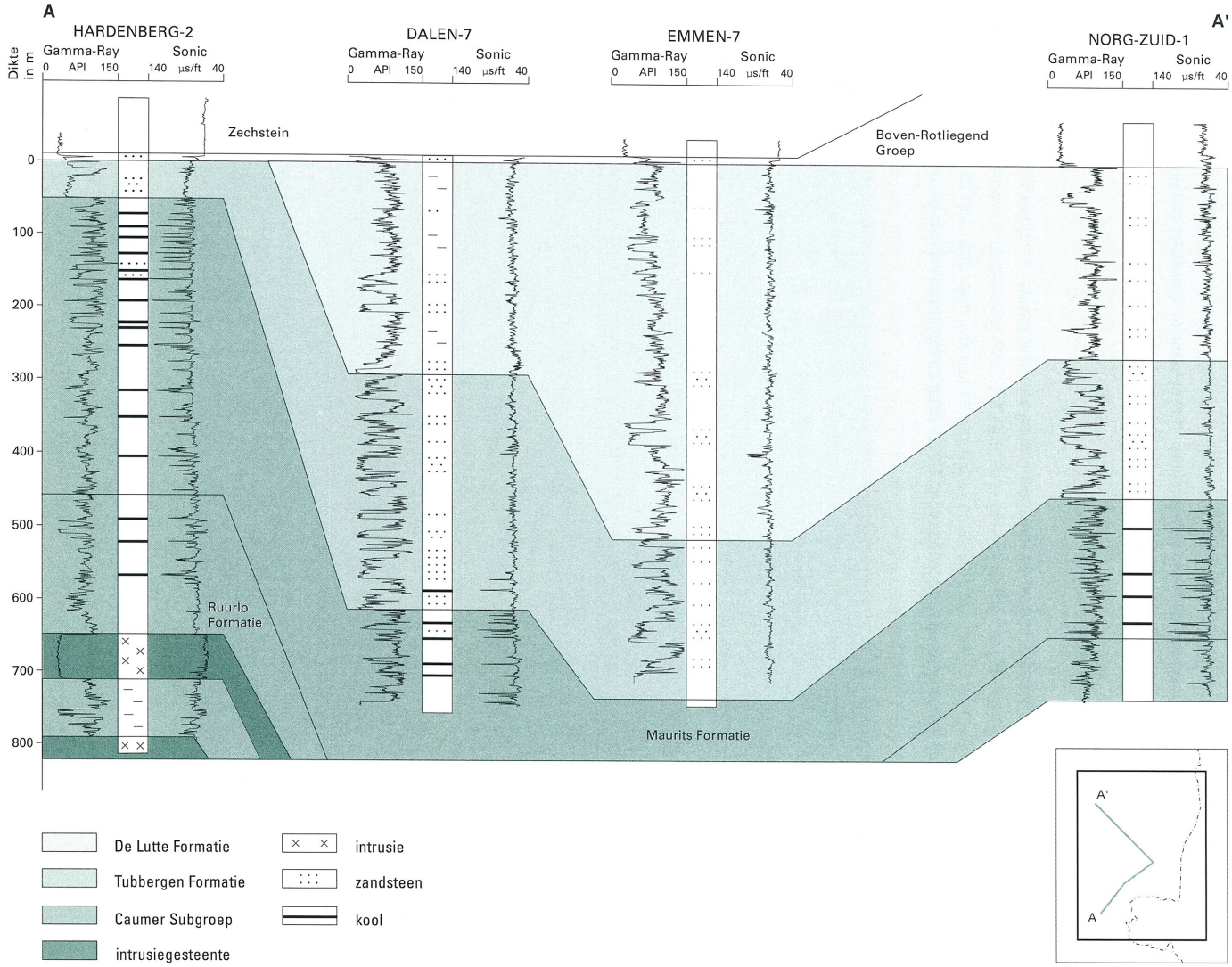
4.1.1.1 Epen Formatie

De Epen Formatie komt binnen het gehele kaartbladgebied voor. De formatie is hier echter door de grote diepteligging niet aangeboord (Van Adrichem Boogaert & Kouwe 1993-1997; Rijks Geologische Dienst, 1995; TNO-NITG, 1998). Wel is de formatie uit omringende gebieden bekend (TNO-NITG, 1998; Rijks Geologische Dienst, 1993a, 1995). De dikte van de formatie neemt naar het noorden naar verwachting toe van 2000 tot 3000 m (Stancu-Kristoff & Stehn, 1984; Ziegler, 1990). De formatie heeft een Namurien A tot Laat-Namurien C ouderdom.

Aan de basis van de formatie bevindt zich het *Geverik Laagpakket* dat bestaat uit *hot shales*, kleistenen met een hoog gehalte aan organisch materiaal. De dikte van deze eenheid bedraagt 50 tot 100 m. Het grootste deel van de Epen Formatie bestaat uit donkergekleurde klei- en siltsteen, die soms rijk is aan organisch materiaal. In deze fijnkorrelige opeenvolging treedt een gering aantal inschakelingen op van zandsteenlagen. De gehele opeenvolging, die gekenmerkt wordt door het veelvuldig optreden van mariene niveaus met goniatieten en bivalven, is opgebouwd uit een cyclische opeenvolging van naar boven toe vergrovende sequenties met een dikte van 50 tot 100 m (TNO-NITG, 1998). Ten noorden van dit kaartbladgebied komt enig kolig materiaal voor in de Epen Formatie (Rijks Geologische Dienst, 1995).

4.1.2 Caumer Subgroep

De Caumer Subgroep bestaat uit een dikke opeenvolging van overwegend fijnkorrelige siliciklastische sedimenten en frequent voorkomende koollagen. Binnen het kaartbladgebied is dit de oudst aangeboorde eenheid. De subgroep bestaat uit drie formaties: de Baarlo, de Ruurlo en de Maurits Formatie. In het grootste deel van het kaartbladgebied wordt de Caumer Subgroep discordant of disconform bedekt door de Tubbergen Formatie. In het noorden en westen van het kaartbladgebied rust de Boven-Rotliegend Groep en in het zuidwesten de Rijnland Groep discordant op de subgroep. Uit literatuurgegevens kan worden afgeleid dat de subgroep die in geen enkele boring volledig is doorboord, een dikte van 2000 m kan bereiken (Stancu-Kristoff & Stehn, 1984). De subgroep heeft een ouderdom van Laat-Namurien C tot Vroeg-Westfalien C.



Figuur 4.2 Stratigrafisch profiel A-A' van de Limburg Groep tussen de boringen Hardenberg-2, Dalen-7, Emmen-7 en Norg-Zuid-1. Dit profiel toont het in noordoostelijke richting jonger worden van de eenheden aan de top van de Limburg Groep, alsmede de discordante bedekking door de Boven-Rotliegend Groep. Het referentie niveau wordt gevormd door de basis van laatstgenoemde groep.

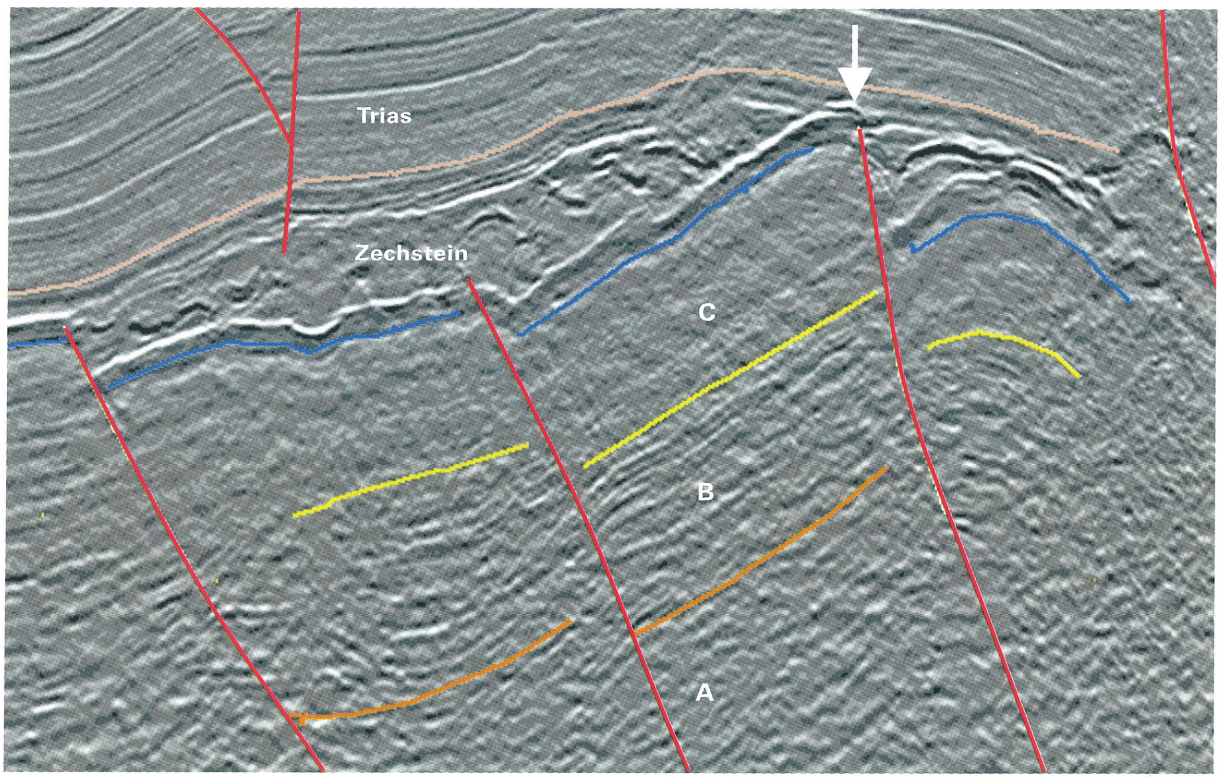
4.1.2.1 Baarlo Formatie

De Baarlo Formatie bestaat uit donkergekleurde kleisteen met frequent voorkomende koollagen en zandstenen. De formatie komt in het gehele kaartbladgebied voor, maar is slechts uit boringen ten noorden en westen hiervan bekend (Rijks Geologische Dienst, 1993a, 1995). Ten noorden van het kaartbladgebied heeft de formatie een dikte van meer dan 1000 m (boring Tjuchem-2; Rijks Geologische Dienst, 1995).

De zandstenen in deze formatie treden overwegend op in naar boven toe vergrovende sequenties. Deze sequenties bereiken een dikte van enkele tientallen meters tot soms 300 m. Aan de basis van dergelijke sequenties bevinden zich kleistenen met mariene tot brakwater fossielen (goniatieten, *Lingula*). De ouderdom van de formatie is Westfalien A.

4.1.2.2 Ruurlo Formatie

De Ruurlo Formatie bestaat uit een opeenvolging van hoofdzakelijk lichtgrijze siltige of zandige kleistenen met ingeschakelde koollagen en grijze tot slecht-gesorteerde roze zandsteenbanken. In de formatie overheersen naar boven toe verfijnende sequenties, maar daarnaast komen tevens enkele naar boven toe vergrovende sequenties voor. De zandstenen zijn ontwikkeld als geulzanden, minidelta's in



Figuur 4.3 Voorbeeld van de seismo-stratigrafische facies van de Limburg Groep. Getoond wordt een N-Z lopend profiel uit de Hoogenweg 3D survey (lijn 8920). A, B en C verwijst naar de seismische facies van de Limburg Groep (paragraaf 4.4). A komt overeen met de Namurien tot Westfalien A afzettingen, B met de koolvoerende Westfalien B tot Vroeg-Westfalien C afzettingen en C met de jongste Carboon afzettingen. De pijl geeft de plaats aan waar de Zechstein Boven-Kleisteen Formatie direct op de basale eenheden van de Zechstein Groep rust.

zoetwatermeren en als zandlagen met een goede laterale continuïteit. De formatie ligt concordant op de Baarlo Formatie en wordt eveneens concordant bedekt door de Maurits Formatie (fig. 4.2, Hardenberg-2). De formatie komt in het gehele kaartbladgebied voor. Ten westen van het kaartbladgebied bedraagt de dikte meer dan 750 m.

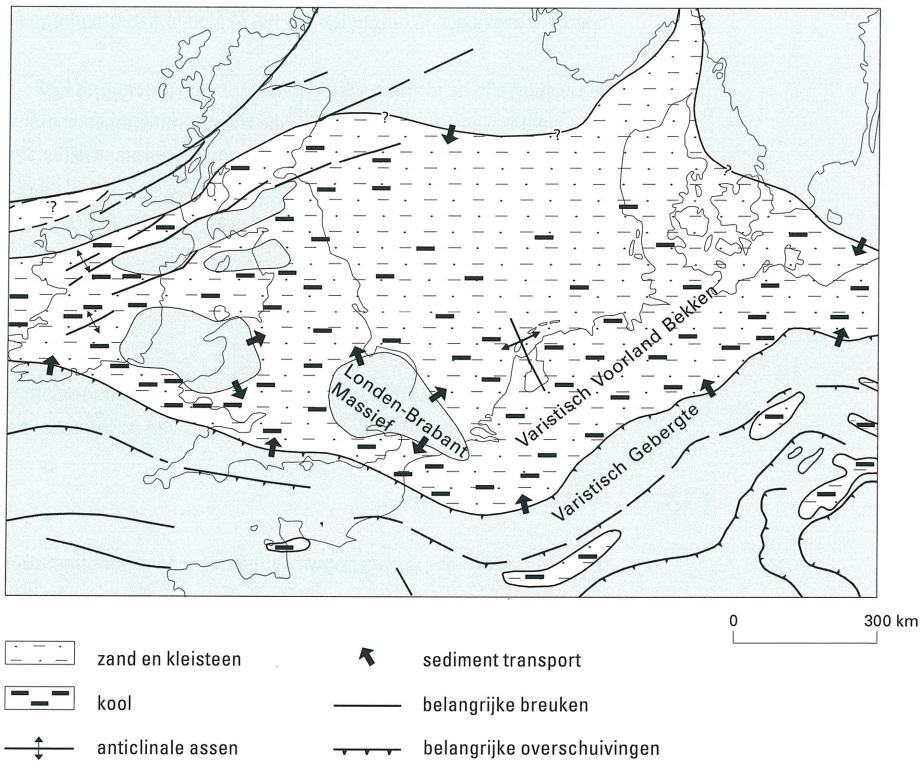
In de Ruurlo Formatie komen de faciële equivalenten van twee belangrijk mariene niveaus voor, namelijk het Catharina niveau dat de Westfalien A-B grens vormt en aan de top van de formatie het Domina niveau, op de grens van het Onder- en Boven-Westfalien B. Dit niveau vormt tevens de grens met de Maurits Formatie. De formatie heeft een Laat-Westfalien A tot Vroeg-Westfalien B ouderdom.

4.1.2.3 Maurits Formatie

De Maurits Formatie bestaat voornamelijk uit lichtgrijze kleistenen met veelvuldig voorkomende koollagen. Daarnaast komen dunne (<5 m) lagen fijn- tot grofkorrelige zandsteen voor. De formatie onderscheidt zich van de onderliggende formatie door een fijnkorreliger karakter en een hoger gehalte aan koollagen, hetgeen op boorgatmetingen goed tot uitdrukking komt (fig. 4.2). De formatie wordt discordant of disconform bedekt door de Tubbergen Formatie, of door de Boven-Rotliegend, de Zechstein of de Rijnland Groep (fig. 4.2, Kaart 19).

Binnen het kaartbladgebied zijn er verschillende aanwijzingen dat de basis van de bovenliggende Tubbergen Formatie erosief is. In de Maurits Formatie komt een tweetal belangrijke mariene niveaus voor; aan de basis het Domina niveau (grens tussen Onder- en Boven-Westfalien B) en nabij de top het Aegir niveau (grens Westfalien B-C).

Figuur 4.4 Paleogeografische kaart van Noordwest-Europa ten tijde van het Laat-Carboon (naar Ziegler, 1990).



De Maurits Formatie komt in het gehele kaartbladgebied voor, maar is slechts in het westelijke deel hiervan aangeboord (fig. 4.2). De dikte van de Maurits Formatie bedraagt in het kaartbladgebied circa 400 m. De ouderdom van de formatie is Laat-Westfalien B tot Vroeg-Westfalien C.

4.1.3 Dinkel Subgroep

De Dinkel Subgroep wordt in het kaartbladgebied vertegenwoordigd door de Tubbergen Formatie. De ouderdom van de subgroep is Vroeg-Westfalien C tot Vroeg-Westfalien D.

4.1.3.1 Tubbergen Formatie

De Tubbergen Formatie bestaat uit een opeenvolging van dikke zandsteenlichamen, gescheiden door dunne fijnkorrelige afzettingen. De formatie rust met een hiaat of een kleine discordantie op de Maurits Formatie en is aanwezig in het grootste deel van het kaartbladgebied (fig. 4.1). Zij wordt in het uiterste oosten van het kaartblad concordant bedekt door de De Lutte Formatie, elders discordant door de Boven-Rotliegend, de Zechstein of de Rijnland Groep (fig. 4.2, Kaart 19). De dikte van de formatie bedraagt maximaal 350 m. Deze dikte wordt in het centrale deel van het kaartbladgebied bepaald door de mate van erosie gedurende het Vroeg-Perm.

De formatie is opgebouwd uit een afwisseling van 10-30 m dikke, in het middelste deel van de formatie zelfs tot 100 m dikke, zandsteenpakketten en kleisteen. De zandstenen worden door 5-40 m dikke klei- en siltsteen intervallen gescheiden (fig. 4.2). Zandsteen maakt 50-80% van de formatie uit. Het zandpercentage neemt in noordelijke richting af. De zandstenen zijn middelgrof, zeer grof tot conglomeratisch en onrijp met slecht afgeronde korrels. Zij zijn overwegend lichtgrijs van kleur. De zandsteenlichamen vertonen een goede laterale continuïteit en vormen het reservoirgesteente van meerdere gasvelden in het zuiden van het gebied (o.a. Hardenberg, Dalen, Coevorden).

De kleistenen in de formatie vertonen onderin een groengrijze kleur; in dit deel komen enkele koollagen voor. Naar boven toe gaat de roodbruine kleur domineren en komen er geen koollagen meer voor. De roodkleuring is hier voor een deel van primaire oorsprong (Selter, 1990; Van der Zwan et al., 1993; Pagnier & Van Tongeren, 1996; Van der Meer & Pagnier, 1996). De dikte van de formatie bedraagt circa 475 m, maar is in het Eems Diep vermoedelijk groter. De formatie heeft een Westfalien C tot Vroeg-Westfalien D ouderdom.

4.1.4 Hunze Subgroep

De Hunze Subgroep bestaat uit de De Lutte Formatie. De ouderdom van de subgroep is Vroeg-Westfalien D tot vermoedelijk Stefanien. De basis van de formatie is enigszins diachroon.

4.1.4.1 De Lutte Formatie

De De Lutte Formatie is opgebouwd uit overwegend roodbruine, soms ook groengrijze, siltige en fijnzandige kleistenen. Hiernaast komen rode en lichtgrijze zandstenen voor met een dikte tot 15 m. Enkele meters boven de basis komt de enige koolhoudende laag voor uit de formatie die in Duitsland als de *Itterbeck-Horizon* bekend staat (Tantow, 1993). Deze laag vormt de scheiding tussen het deel van de formatie met gley bodems eronder en het deel met caliche en ferrugene bodems erboven. In het allerbovenste deel van de formatie domineren caliche bodems (Van der Zwan et al., 1993; Pagnier & Van Tongeren, 1996; Van der Meer & Pagnier, 1996).

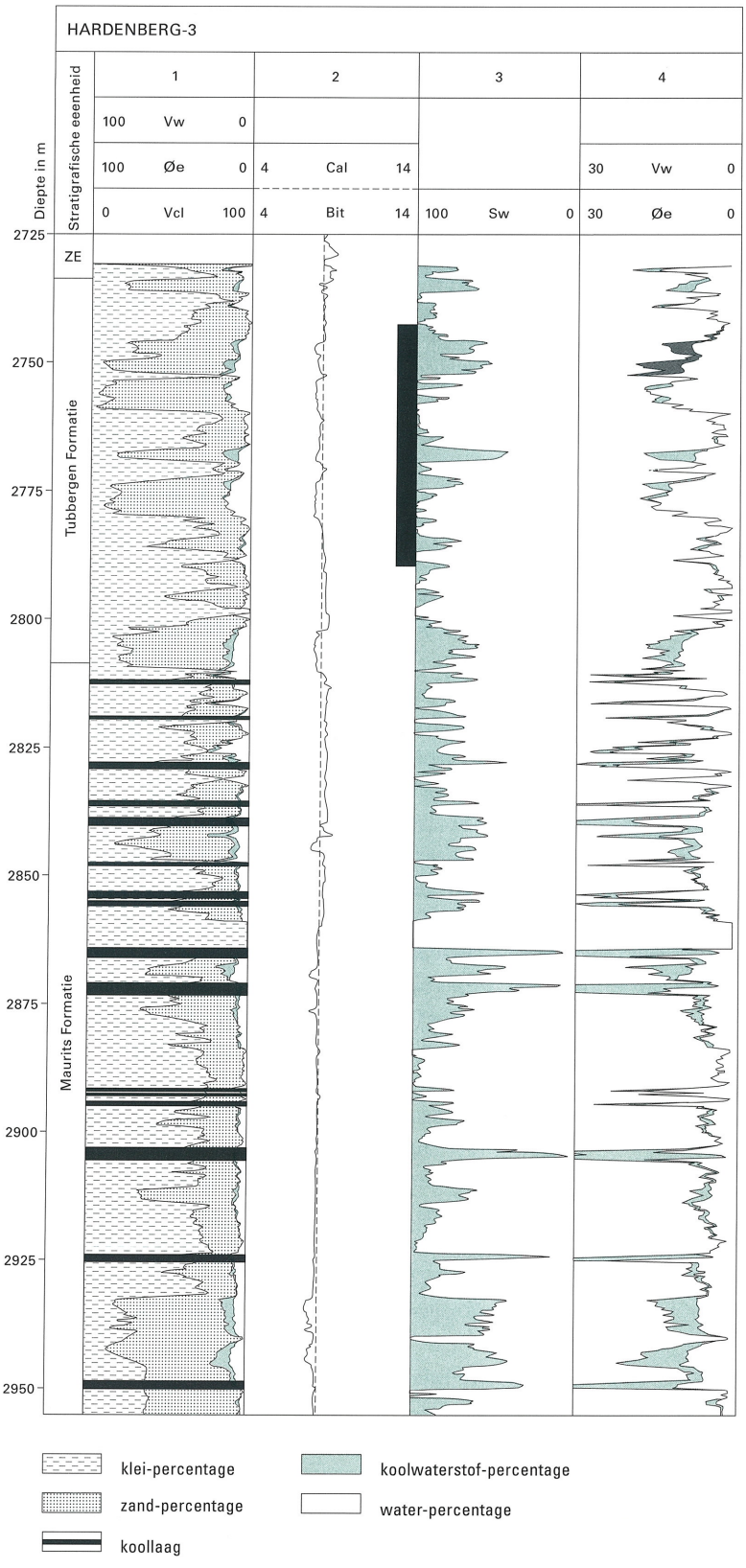
Figuur 4.5 Petrofysische evaluatie van de zandstenen van de Limburg Groep in de boring Hardenberg-3.

Kolom 1: kleigehalte V_{cl}, effectieve porositeit Øe 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 *shaly sand model* (density log/neutron 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 is het gekernde interval weergegeven d.m.v. een zwarte balk.

Kolom 3: de watersaturatie S_w, in procenten. Voor de bepaling van de watersaturatie werd de Indonesische formule gebruikt (Fertl, 1987).

Kolom 4: effectieve porositeit Øe (linker curve) en poriënvolume water V_w (rechter curve), beide in procenten. In de linkerkolom zijn de formatiegrenzen aangegeven. Diepten zijn werkelijke diepten.



De De Lutte Formatie komt voor in het centrale en het oostelijke deel van het kaartbladgebied (fig. 4.1). De formatie ligt concordant op de Tubbergen Formatie en wordt discordant bedekt door de Onder-Rotliegend, de Boven-Rotliegend of de Zechstein Groep. De maximale dikte van de formatie bedraagt bijna 800 m (Grollo-1); in het oosten bedraagt deze 650 tot ruim 700 m.

4.2 Intrusiegesteenten

Op verschillende plaatsen in het kaartbladgebied zijn intrusiegesteenten aangeboord. In de boring Dwingelo-2 is een olivijngabbro aangetroffen van 3754 tot 3792 m (Thiadens, 1963). Dit dieptegesteente is gedateerd op 322±15 Ma en werd in detail beschreven door Eigenfeld & Eigenfeld-Mende (1986). In de boring Hardenberg-2 (fig. 4.2) is een olivijngabbro van ongeveer gelijke ouderdom aangeboord (290±16 Ma). Ook in boringen bij De Wijk en Wanneperveen zijn deze gesteenten aangetroffen.

4.3 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

De afzettingen van de Limburg Groep weerspiegelen een regressieve vulling van het Laat-Carboon voorlandbekken (Van Wijhe & Bless, 1974; Ramsbottom, 1979). Het bekken was O-W georiënteerd en bestreek het gebied van Engeland tot Polen (fig. 4.4). De dikke opeenvolging van de Limburg Groep kent zowel graduele overgangen van de verschillende facies als intra-formationele hiaten en discordanties. Het brongebied voor sediment lag in het zuiden (David, 1990; Selter, 1990).

Het onderste deel van de regressieve megasequentie (Epen Formatie) bestaat uit mariene en deltaïsche afzettingen. De karakteristieke naar boven toe vergrovende opeenvolgingen representeren uitbouwende delta's. Het middelste deel van de megasequentie (Caumer Subgroep) wordt gekenmerkt door de overgang van prodelta afzettingen naar deltavlakte- en rivierafzettingen. Op deze deltavlakte ontwikkelden zich uitgestrekte moerassen waarin veenvorming optrad. Zandige afzettingen worden gevormd door meanderende of verwilderde rivieren en crevasses. In het bovenste deel van de megasequentie (Tubbergen Formatie) maakten de overwegend fijnkorrelige afzettingen plaats voor grofkorrelige verwilderde rivierafzettingen. Het erosieve insnijden van geulen, de grote hoeveelheden grofkorrelig materiaal en de kleine interne discordanties duiden op tektonische opheffing van het achterland tijdens de afzetting van deze formatie (Pagnier & Van Tongeren, 1996). De jongste afzettingen, van de fijnkorrelige De Lutte Formatie, representeren voornamelijk stroomvlakteafzettingen, met dunne, grofkorrelige, verwilderde rivierafzettingen.

In de Limburg Groep komen veelvuldig mariene niveaus voor die naar boven toe in frequentie afnemen. Deze mariene of marginaal mariene afzettingen waren van korte duur. Sedimenten, flora en fauna van het Namurien en het Westfalien A, B en C wijzen op een continu tropisch humide klimaat. De ontwikkeling van de bodemtypes (van ferrugeen naar caliche) wijst op een langzaam droger wordend klimaat gedurende het Laat-Westfalien C en D, en het Stefanien (Hedemann & Teichmüller, 1971; Van der Zwan et al., 1993; Pagnier & Van Tongeren, 1996). De rode kleur van de sedimenten, de kalkhoudende bodems en spaarzame vegetatie indiceren een meer tropisch semi-aride klimaat.

4.4 Seismische facies

In het kaartbladgebied worden in de Limburg Groep drie seismische facies onderscheiden (fig. 4.3). Deze werden op 3D seismiek gekarteerd en met behulp van circa 35 boringen gecalibreerd. Soortgelijke seismische facies in het Carboon zijn herkend in aangrenzende gebieden (Tantow, 1993; Van Tongeren 1996) en op het Klaverbank Hoog in de Noordzee (Quirk, 1993). In het noorden van het kaartbladgebied

zijn deze seismostratigrafische eenheden niet altijd vervolgbaar ten gevolge van het door zoutpijlers sterk verstoorde seismische signaal.

Seismische facies A wordt gekarakteriseerd door gemiddeld lage frequentie amplitudes van redelijke continuïteit. In het gebied van Dwingelo zijn enkele sterke amplitudes aanwezig, welke mogelijk worden veroorzaakt door laagparallelle vulkanische intrusies. Deze facies komt overeen met de Epen en Baarlo Formaties die relatief weinig koollagen bevatten (Namurien tot Westfalien A).

Seismische facies B bestaat uit zeer continue en parallelle reflecties met hoge amplitudes en komt overeen met de Ruurlo en Maurits Formatie (Westfalien B tot Vroeg-Westfalien C). Deze formaties worden gekenmerkt door een afwisseling tussen kleisteen, zandsteen en koollagen. Het typische karakter van deze seismische facies wordt aan interferentie van snelle verticale afwisseling van kool, kleisteen en zandsteen toegeschreven.

Seismische facies C is min of meer transparant en kent veelal lage amplitude en laag frequente reflecties. Dit bovenste interval wordt gekenmerkt door enige hoge-amplitude en discontinue reflecties, welke mogelijk kunnen duiden op intra-formationele hiaten. Deze facies komt overeen met de Tubbergen en de De Lutte Formatie (Vroeg-Westfalien C tot vermoedelijk Stefanien).

4.5 Petrofysische evaluatie

In en rondom het kaartbladgebied zijn acht boringen petrofysisch geëvalueerd (appendix C). Van zes boringen zijn kernanalyse-data beschikbaar. De aan kernen gemeten porositeit ligt tussen 1-21%, terwijl permeabiliteiten maximaal 200 mD bedragen. De zandstenen van de Tubbergen Formatie vormen in het zuidelijke deel van het kaartbladgebied een belangrijk exploratiedoel. Er zijn hier en in het aangrenzende deel van Duitsland meerdere gasvelden ontdekt (fig. 2.2a). Tevens zijn delen van de onder- en bovenliggende formaties in de evaluatie meegenomen.

In de Tubbergen Formatie neemt de netto/bruto ratio in noordelijke richting af; de hoogste waardes worden in het noordelijke deel van Twente waargenomen (Tubbergen-Mander-1), de laagste waarde in Zuid-Drenthe (Dalen-7). Dit past binnen het sedimentaire model voor deze formatie, waarbij verwilderde fluviatiele systemen zich vanuit zuidelijke richting over het gebied uitbreiden die in noordelijke richting in stroomvlakte en fluviatiele afzettingen overgaan (Selter, 1990). Enige voorzichtigheid dient echter te worden betracht, daar deze afname ook veroorzaakt kan worden door het feit dat de boring Dalen-7 meer aan de rand van het fluviatiele systeem is gesitueerd en door het optreden van secundaire porositeit (Van der Meer & Pagnier, 1996).

De porositeiten van de zandstenen in de formaties liggen tussen 10 en 13%, waarbij de gemiddelde waarde in de Tubbergen Formatie iets hoger en constanter is dan bij de De Lutte Formatie. De zandstenen in de Maurits Formatie vertonen een opmerkelijke spreiding met een bijzonder hoge waarde van 19,8% in een dunne zandsteen in de boring Dalen-7. Als voorbeeld van een logevaluatie van het reservoirtraject van de Limburg Groep wordt in figuur 4.5 het resultaat getoond van de boring Hardenberg-3.

5 Onder-Rotliegend Groep

5.1 Stratigrafie

De Onder-Rotliegend Groep wordt op het kaartbladgebied vertegenwoordigd door de Emmen Vulkaniet Formatie. Het voorkomen van deze afzettingen beperkt zich tot het Eems Diep (Kaart 1). Dit is tevens het enige bekende voorkomen onder het Nederlandse vasteland (fig. 5.1) en de westelijke uitloper van een veel groter gebied in Duitsland. Gezien de geringe boringsdichtheid in het zuidoosten van het kaartbladgebied is het niet uitgesloten dat deze groep ook hier voorkomt. De ouderdom van de groep is Vroeg-Perm.

De Onder-Rotliegend Groep rust in het kaartbladgebied discordant op de Hunze Subgroep en wordt, eveneens discordant, bedekt door de Zechstein Groep. Juist ten oosten van het kaartbladgebied wordt de groep discordant bedekt door de Boven-Rotliegend Groep. De diepteligging van de basis van de groep varieert van 4000 tot 5000 m (Kaart 1). De dikte van de groep bedraagt maximaal 75 m in het oosten van het kaartbladgebied.

5.1.1 Emmen Vulkaniet Formatie

De Emmen Vulkaniet Formatie bestaat uit een snelle verticale afwisseling van roodbruin en grijsgroen

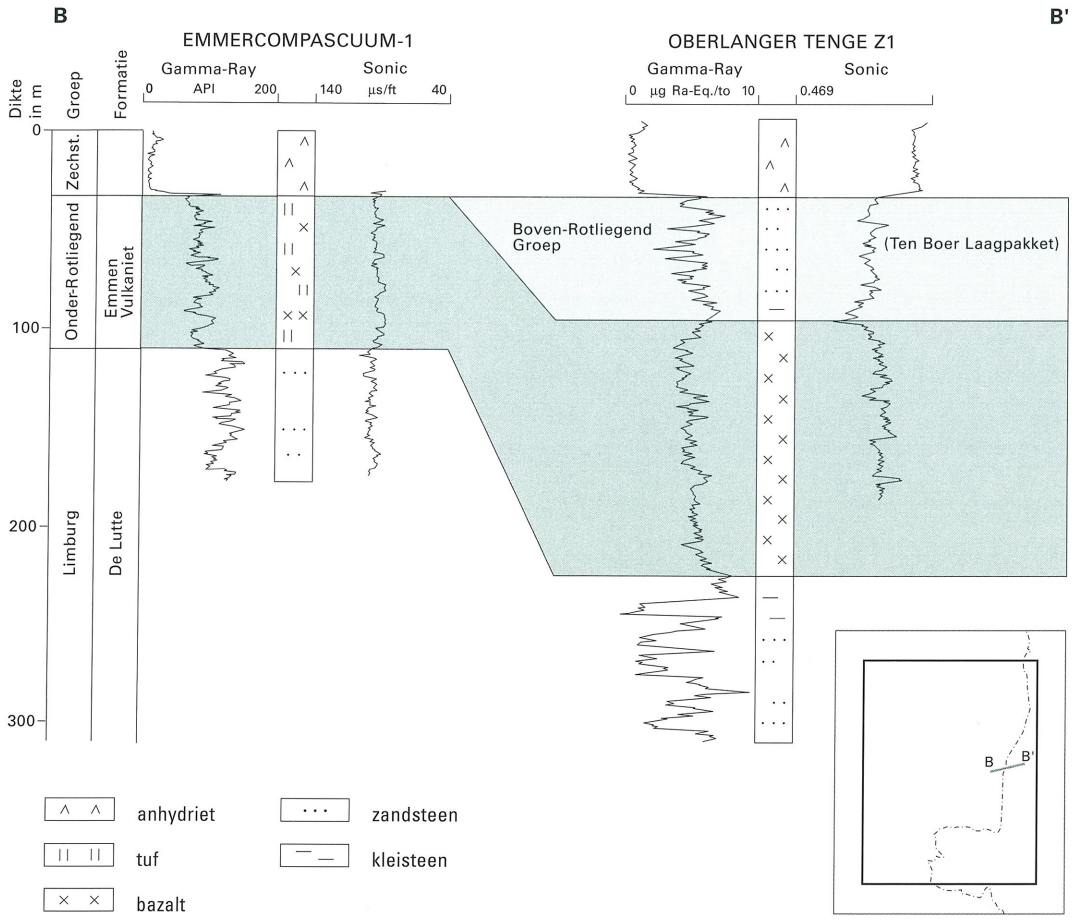


Figuur 5.1 Diktekaart van de Emmen Vulkaniet Formatie in het kaartbladgebied, gebaseerd op boorgegevens. Gegevens uit het Duitse deel zijn afkomstig uit Plein (1995) en Lokhorst (1998).

gekleurde, grof en fijnkorrelige siliciklastische afzettingen, tuffen en gespilitiseerde bazaltische lagen (fig. 5.2). Deze bazaltische lagen zijn op de boorgatmetingen goed te onderscheiden. De opeenvolging is ten oosten van het kaartbladgebied gekernd in de boring Oberlanger Tenge Z1 (Fabian et al., 1962). De formatie bestaat hier uit een opeenvolging van (zandige) kleistenen en spiliet (gealbitiseerde bazalt). Tuflagen komen nauwelijks voor.

De vulkanische afzettingen zijn aangetroffen in het Eems Diep (fig. 3.1). Opmerkelijk is dat hier geen sedimenten van de Boven-Rotliegend Groep worden aangetroffen. Juist buiten het kaartbladgebied is dit wel het geval (Plein, 1995) en lokaal zou dit ook in het zuidoosten van het gebied kunnen optreden. De dikte van de formatie is het grootst in oostelijke deel van het kaartbladgebied, namelijk ruim 75 m. De dikte neemt hierbuiten toe tot ruim 100 m (fig. 5.2).

De ouderdom van de Emmen Vulkaniet Formatie is Vroeg-Perm en zeer waarschijnlijk het oudste deel hiervan (Asselien-Artinskien; Plein, 1995). Correlatie van deze bazalten met de gabbroïsche



Figuur 5.2 Stratigrafisch profiel B-B' van de Onder- en Boven-Rotliegend Groep in de boringen Emmercompascuum-1 en Oberlanger Tenge Z1 (naar Fabian et al. 1962). In de boring Emmercompascuum-1 bestaat de Onder-Rotliegend Groep uit een afwisseling van bazalt en tuflagen. De trajecten met spiliet (gealbitiseerde bazalt) worden gekenmerkt door een hoge intervalsnelheid op de sonic log. In de boring Oberlanger Tenge Z1 bestaat de Onder-Rotliegend Groep geheel uit spiliet.

dieptegesteenten in de Limburg Groep (aangetroffen in de boringen De Wijk, Dwingelo-2 en Hardenberg-2) ligt voor de hand, maar kan niet worden bewezen.

5.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

De formatie is gevormd in een continentaal afzettingsmilieu onder droge klimatologische omstandigheden waar lavastromen met een bazaltische samenstelling uitvloeiden via breukzones in het Eems Diep. De grofkorrelige afzettingen representeren wadi's waarin erosiemateriaal vanaf de omringende hogen werd afgezet.

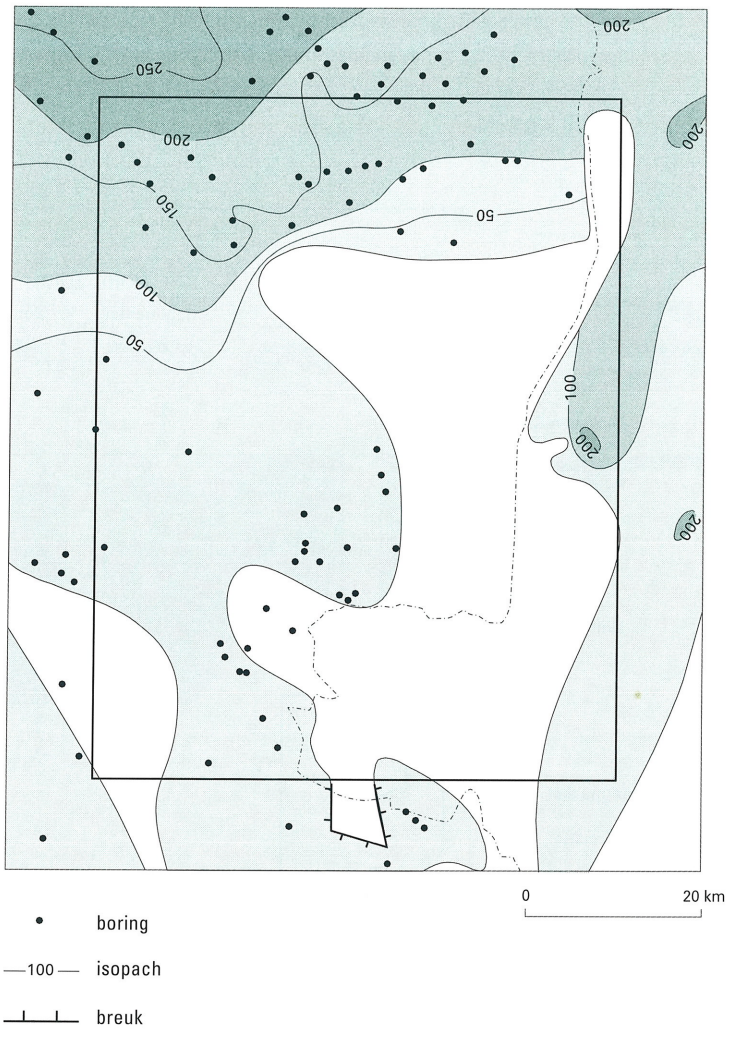
6 Boven-Rotliegend Groep

6.1 Stratigrafie

De Boven-Rotliegend Groep wordt vertegenwoordigd door zanden en conglomeraten van de Slochteren Formatie. In de noordelijke helft van het kaartbladgebied komen aan de top kleistenen van de Silverpit Formatie voor. Volgens de meest recente inzichten heeft de groep in Nederland een Laat-Perm ouderdom (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993-1997; Geluk, 1997, 1999).

De Boven-Rotliegend Groep rust discordant op de Limburg Groep en wordt concordant bedekt door de Zechstein Groep (Kaart 3) of, in het uiterste zuidwesten, discordant door de Rijnland Groep (Kaart 19). Juist ten oosten van het kaartbladgebied rust de groep discordant op de Onder-Rotliegend Groep; dit kan mogelijk ook in het zuidoosten van het kaartbladgebied het geval zijn. De groep ontbreekt in het Eems Diep en op het Dalfsen Hoog. De diepteligging van de basis van de groep varieert van minder dan 2000 m in het zuidwesten tot ruim 4000 m in het midden en noordoosten van het kaartbladgebied (Kaart 2).

De groep bereikt de grootste dikte, ruim 200 m, in het noorden en ten oosten van het kaartbladgebied.



Figuur 6.1 Diktekaart van de Boven-Rotliegend Groep in het kaartbladgebied, gebaseerd op boringen. De kleistenen van het Ten Boer Laagpakket komen slechts voor in het noorden van het kaartbladgebied. Gegevens uit het aangrenzende Duitse gebied zijn ontleend aan Lokhorst (1998).

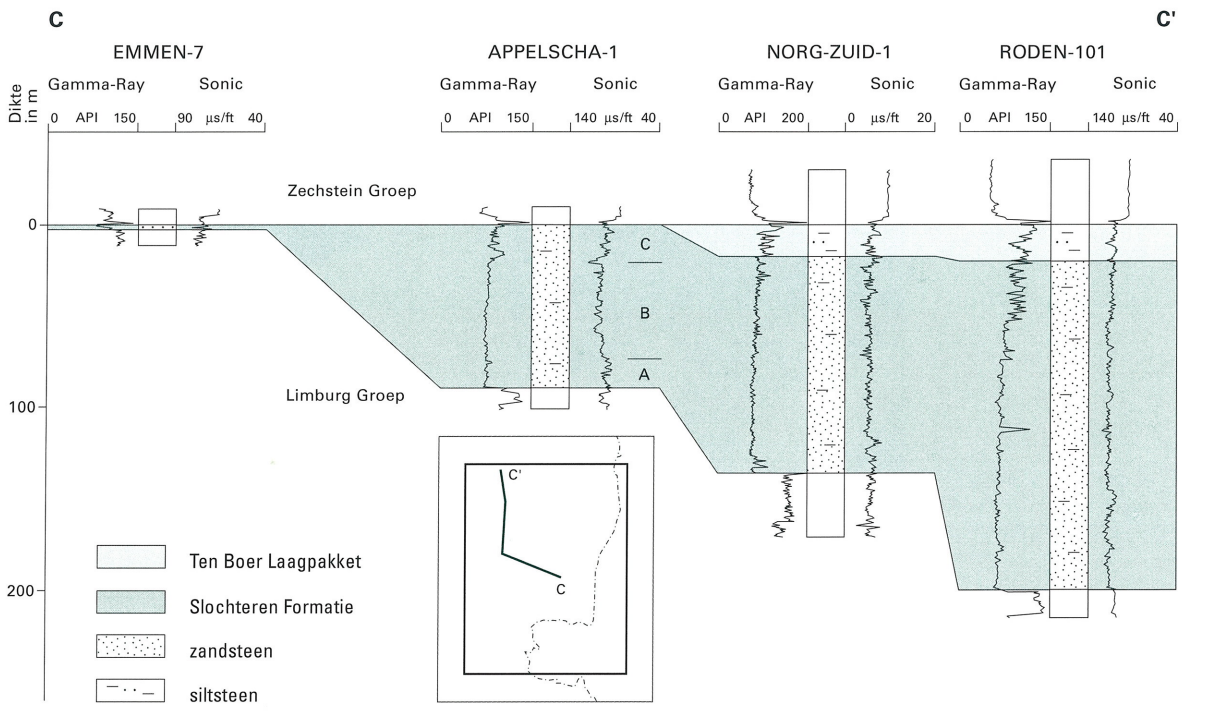
In het grootste deel van het gebied bedraagt de dikte minder dan 50 m (fig. 6.1).

6.1.1 Slochteren Formatie

De Slochteren Formatie bestaat uit paarse tot roodbruine en geelgrijze zandstenen en conglomeraten met dunne inschakelingen van roodbruine en grijze siltige kleistenen. Het bovenste deel van de Slochteren Formatie gaat in het noorden van het kaartbladgebied lateraal over in siltige kleistenen van de Silverpit Formatie.

De dikte van de Slochteren Formatie neemt in noordelijke richting toe van enkele meters in het zuiden tot ruim 180 m in het noorden. De diktetoename geschiedt vrij snel in een smalle zone (fig. 6.1). Deze lijn valt samen met de voornoemde lithologische overgang in het bovenste deel van de formatie (fig. 6.2).

In het noorden van het kaartbladgebied worden op grond van lithologie en logpatroon drie informele eenheden binnen de Slochteren Formatie onderscheiden, A, B en C genoemd (fig. 6.2). Eenheid A bestaat uit slecht gesorteerde, sterk met kwarts en carbonaat gecementeerde zandige conglomeraten, met redelijk afgeronde rolstenen tot enkele cm groot. Naar boven toe neemt de korrelgrootte in deze eenheid af en worden in toenemende mate zandsteen- en kleisteenlagen ingeschakeld. De samenstelling van de gesteentefragmenten wijst op een achterland met zowel sedimentaire als metamorfe en granitische gesteenten (Van Rossum, 1978). Het conglomeraat aan de basis bevat opvallend weinig klei. Eenheid A varieert in dikte van 50 m in het noordwesten tot 20 m in het noordoosten van het kaartbladgebied.

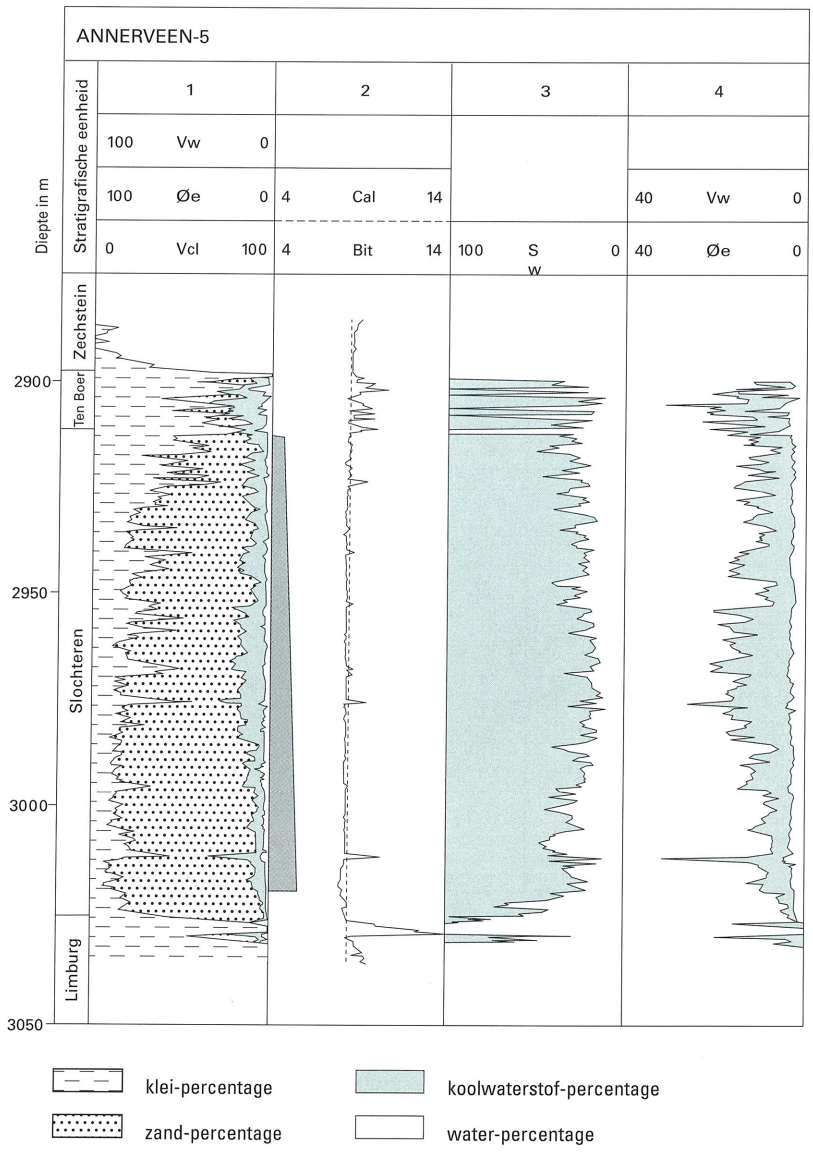


Figuur 6.2 Stratigrafische profiel C-C' van het Boven-Rotliegend Groep tussen de boringen Emmen-7, Appelscha-1, Norg-Zuid-1 en Roden-101. De basis van de Zechstein Groep is het referentieniveau.
Het profiel toont een diktetoename in noordelijke richting waar ook het Ten Boer Laagpakket optreedt.

Eenheid B bestaat uit een afwisseling van matig tot redelijk gesorteerde zandsteen met enkele ingeschakelde conglomeraat- en kleisteenlagen met een dikte tot 1 m. De zandsteenlagen zijn nauwelijks gecementeerd, maar vroeg-diagenetische carbonaat, kaoliniet, kwarts en anhydriet komen voor. Eenheid B neemt af in dikte van 90 m in het westen tot 30 m in het oosten van het kaartbladgebied.

De bovenste eenheid van de Slochteren Formatie is eenheid C die de overgang vormt naar de kleiige facies van het Ten Boer Laagpakket. Eenheid C bestaat uit een opeenvolging van kleistenen, redelijk gesorteerde zandsteenlagen en enkele conglomeraatlaagjes. De dikte varieert van 50 m in het noordwesten tot 20 m in het noordoosten.

Op de zuidelijke helft van het kaartbladgebied bestaat de Slochteren Formatie slechts uit een dunne conglomeraat (<10 m). Deze conglomeraten vormen de laterale equivalenten van de allerjongste afzettingen van de formatie.



Figuur 6.3 Petrofysische evaluatie van de Boven-Rotliegend Groep in de boring Annerveen-5.

Kolom 1: kleigehalte V_{cl}, effectieve porositeit $Ø_e$ en porievolume water V_w (in %). Het kleigehalte werd bepaald met behulp van de Gamma-Ray log. De effectieve porositeit werd afgeleid uit de sonic log, na correctie voor het kleigehalte.

Kolom 2: boorgatdiameter (Cal) en boorbeiteldiameter (Bit), beide in inches. Bovendien is hier het geteste interval weergegeven (appendix F) door een trapezium.
Kolom 3: de watersaturatie S_w (in %). Voor de bepaling van de watersaturatie werd de Indonesische formule gebruikt die geschikt is voor kleiige formaties (Fertl, 1987).

Kolom 4: effectieve porositeit $Ø_e$ (linker curve) en het volume water in de poriën V_w (rechter curve), beide in %. In de linker kolom zijn de formatiegrenzen aangegeven. De diepte is de werkelijke diepte.

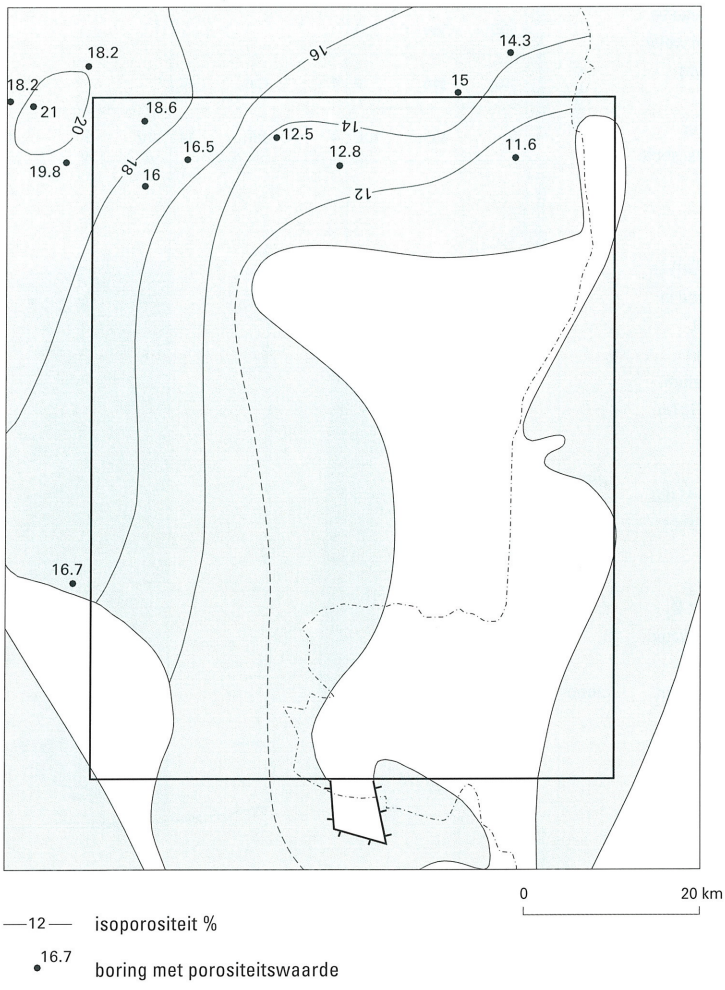
6.1.2 Silverpit Formatie

De Silverpit Formatie wordt in dit gebied vertegenwoordigd door het Ten Boer Laagpakket. Dit pakket komt aan de top van de formatie voor.

Het Ten Boer Laagpakket bestaat uit een opeenvolging van roodbruine, zandige klei- en siltsteen met dunne ingeschakelde zand- en siltsteen lagen. Het laagpakket komt voor ten noorden van de lijn Smilde-Blijham en bereikt op het kaartblad een dikte van ca. 20 m (fig. 6.2).

6.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

De afzettingen van de Boven-Rotliegend Groep vormen de erosieproducten van een Varistisch achterland. De conglomeraten en zandstenen van eenheid A en B van de Slochteren Formatie zijn door verwilderde riviersystemen, wadi's en *sheetfloods* afgezet aan de rand van het Eems Diep. Afzetting van slecht gesorteerde conglomeratische zandsteenlagen vond plaats na heftige, korte periodes van neerslag in een warm klimaat. De afzettingen duiden op massatransport van zand en grind in een



Figuur 6.4 Schematische contourkaart van de gemiddelde effectieve porositeit van de Boven-Rotliegend Groep (appendix E).

proximaal fluviatiel bereik. Fijnkorrelig sediment werd verder in suspensie stroomafwaarts gevoerd waar het werd afgezet op de uitgestrekte stroomvlaktes aan de rand van het noordelijker gelegen playa-meer. De stromingsrichting van de fluviatiele systemen en wadi's is in het kaartbladgebied overwegend noordwaarts gericht (Van Wijhe et al., 1980). Het Ten Boer Laagpakket representeert overwegend lacustriene sedimenten, afgezet gedurende periodes van hoge waterstanden in het playa-meer. Klimatologisch bepaalde niveauverschillen in de waterstand van het playa-meer zorgden voor de vervingering van de Slochteren en de Silverpit Formatie.

6.3 Petrofysische evaluatie

De zandstenen van de Boven-Rotliegend Groep vormen een belangrijk reservoirgesteente in de noordelijke helft van het kaartbladgebied. Van 13 boringen van de Boven-Rotliegend Groep is een petrofysische evaluatie gemaakt. In appendix E worden de reservoirsommaties van de porositeit gegeven voor de gehele groep en de Slochteren Formatie. In 10 boringen werd de groep gasvoerend aangetroffen (appendix F). In figuur 6.3 wordt de petrofysische evaluatie getoond voor de boring Annerveen-5.

De verdeling van de effectieve porositeit van de Boven-Rotliegend Groep in het kaartbladgebied toont een toename van de porositeit in noordwestelijke richting, van 11 tot meer dan 20% (fig. 6.4). Volgens Van Rossum (1978) weerspiegelt deze toename een verbetering van de sortering van de zanden. In het zuiden zijn de zandstenen onrijp met een significant klei- en grindgehalte. Petrofysische evaluaties zijn hier niet uitgevoerd, maar in de lijn van de door Van Rossum (1978) gelegde relatie kan hier een verdere afname van de porositeit worden verwacht.

7 Zechstein Groep

7.1 Stratigrafie

Binnen het kaartbladgebied is de Zechstein Groep opgebouwd uit vijf evaporietcycli die alle de status van formatie hebben, de Z1 (Werra) tot en met Z5 (Ohre) Formatie en een afdekkende kleisteen, de Zechstein Boven-Kleisteen Formatie. De bases van de formaties worden gekenmerkt door transgressies. De groep heeft een Laat-Perm ouderdom.

De Zechstein Groep ligt in een groot deel van het kaartbladgebied concordant op de Boven-Rotliegend Groep. In het Eems Diep echter rust de groep lokaal discordant op de Onder-Rotliegend of op de Limburg Groep (Kaarten 1 & 2). De Zechstein Groep wordt concordant bedekt door de Onder-Germaanse Trias Groep (Kaart 6) en in het zuidwesten en boven zoutstructuren discordant door de Nedersaksen, de Rijnland, of de Krijtkalk Groep, of door de Noordzee Supergroep (Kaarten 18, 19 & 20).

De basis van de Zechstein Groep is sterk verbroken en varieert in diepteligging van 2000 m in het zuidwesten tot ruim 5000 m in het oosten (Kaart 3). De diepteligging van de top van de groep vertoont grote reliëfverschillen, die worden veroorzaakt door zoutstructuren (Kaart 4). De dikte van de groep varieert van 300 tot lokaal meer dan 3000 m (Kaart 5). Zoutbeweging heeft de dikteontwikkeling van de groep in het kaartbladgebied sterk beïnvloed. Halokinetische bewegingen van Zechstein zout hebben een grote invloed gehad op de structurele ontwikkeling van het kaartbladgebied. Hieraan wordt in paragraaf 14.4 uitgebreid aandacht besteed.

De opbouw van de Zechstein Groep wordt geïllustreerd met een stratigrafisch correlatieprofiel (fig. 7.1).

7.1.1 Z1 (Werra) Formatie

De Z1 (Werra) Formatie is opgebouwd uit het Koperschalie, het Z1 Carbonaat, het Z1 Anhydriet en het Z1 Zout Laagpakket.

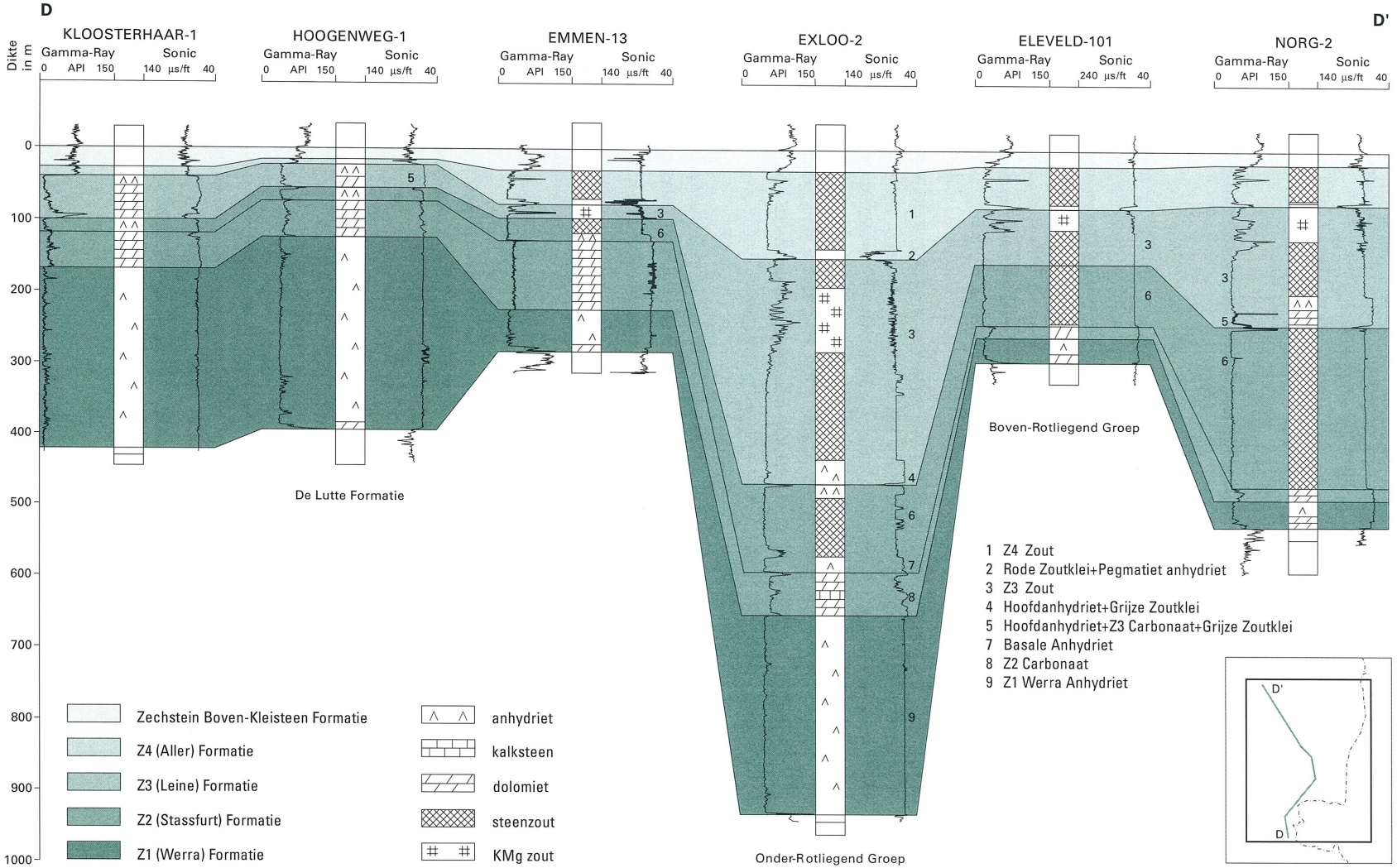
De *Koperschalie* is een circa 1 m dikke, bitumineuze fijngelamineerde bruinzwarte schalie aan de basis van de Zechstein Groep met een karakteristieke hoge uitslag op de Gamma-Ray log.

De *Z1 Carbonaat* is een 1 tot 15 m dikke grijsbruine, dolomitische kalksteen met kleisteen inschakelingen en komt in het gehele kaartbladgebied voor. Naar de top van de Z1 Carbonaat neemt het percentage kleisteen af, hetgeen zich uit door een afname van de uitslag op de Gamma-Ray log. In het bovenste deel van de eenheid treden anhydrietknollen op.

De *Z1 Anhydriet* bestaat uit een 25 tot bijna 300 m dikke grijze anhydriet. In de eenheid treden kalkhoudende lagen met stromatoliet-laminaties en anhydrietknollen op. In het oosten van het kaartbladgebied bevonden zich twee anhydrietplatforms, met diktes van meer dan 200 m (fig. 7.1 & 7.2a).

Het voorkomen van deze anhydrietplatforms lijkt gerelateerd aan oudere breukstructuren, hetgeen ook reeds door Van der Baan (1990) werd verondersteld. Het noordelijke platform valt ongeveer samen met het verbreidingsgebied van de Onder-Rotliegend Groep. Dit platform staat bekend als het Exloo Anhydriet Platform, het zuidelijke als het Kloosterhaar Anhydriet Platform. Op laatstgenoemd platform wordt het laagpakket door de inschakeling van het Z1 Zout onderverdeeld in de *Z1 Onder-Anhydriet* en de *Z1 Boven-Anhydriet*.

Het *Z1 Zout* bestaat voornamelijk uit haliet, met daarnaast enkele dunne anhydrietlaagjes. Het zout komt slechts in het zuidelijke deel van het kaartbladgebied voor (fig. 7.2a) en bereikt hier een maximale dikte



Figuur 7.1 Lithostratigrafisch correlatieprofiel D-D' van de boringen Kloosterhaar-1, Hoogenweg-1, Emmen-13, Exloo-2, Eleveld-101 en Norg-2.

van ca. 90 m. Het zout is lokaal aan de noordrand van het Kloosterhaar Anhydrietplatform aanwezig als een enkele meters dikke zoutlaag (o.a. Schoonebeek-313).

7.1.2 Z2 (Stassfurt) Formatie

De Z2 (Stassfurt) Formatie is opgebouwd uit het Z2 Carbonaat, het Z2 Basale Anhydriet, het Z2 Zout en het Z2 Dakanhydriet Laagpakket.

De *Z2 Carbonaat* (Hoofddolomiet) vertoont een grote variatie in dikte en opbouw binnen het kaartbladgebied. Het dikteverloop van het laagpakket wordt sterk beïnvloed door de dikteontwikkeling van de Z1 Anhydriet. Op de hellingen van het anhydrietplatform bereikt de Z2 Carbonaat de grootste diktes. Op het voormalige platform zelf ligt de dikte net onder de 50 m, terwijl zij ten noorden hiervan afneemt tot minder dan 20 m. De maximale dikte, ruim 190 m, wordt in het zuidoosten van het kaartbladgebied bereikt (fig. 7.2b). Op 3D seismiek kan dit dikteverloop in detail worden gekarteerd; uit het dikteverloop kan tevens facies-informatie worden afgeleid (Van de Sande et al., 1996).

De Z2 Carbonaat vertoont een grote variatie in lithologische opbouw. In het noordelijke deel van het kaartbladgebied waar de eenheid minder dan 10 m dik is, bestaat zij uit een donkergekleurde, gelamineerde fijnkorrelige dolomiet met een hoog gehalte aan organisch materiaal. Op de flanken van het anhydrietplatform bestaat het laagpakket overwegend uit lichtgekleurde grainstones en boundstones met oölitische en bioklastische inschakelingen (Clark, 1986; Van der Baan, 1990; Sannemann et al., 1978). Op het platform zelf wordt de eenheid gekenmerkt door bioklastische componenten van bivalven en stromatolieten; tevens komt anhydriet in het laagpakket voor.

De *Z2 Basale Anhydriet* bestaat uit wit tot beige gekleurde massieve anhydriet. De dikte van deze anhydriet is in het kaartbladgebied minder dan 10 m, behalve op het Kloosterhaar en het Exloo Anhydriet Platform. Hier bereikt de eenheid een dikte van meer dan 20 m.

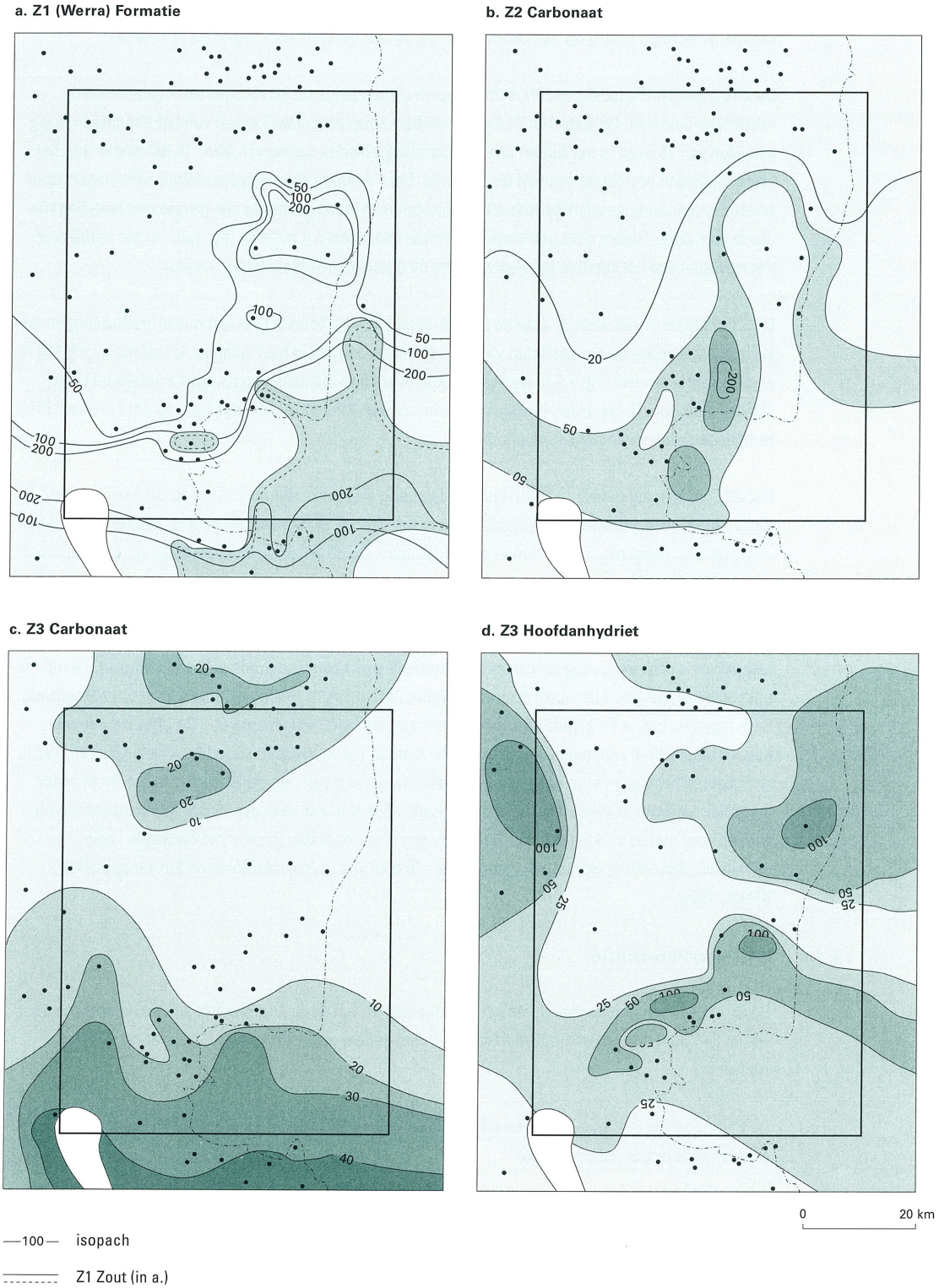
Het *Z2 Zout* is in het gehele kaartbladgebied aanwezig, uitgezonderd in het uiterste zuidwesten (fig. 7.3a). De primaire zoutdikte neemt naar het noorden toe van enkele tientallen meters tot meer dan 700 m. Deze trend is echter sterk verstoord door zoutvloei (zie paragraaf 14.3).

In het zuiden bestaat het Z2 Zout overwegend uit lichtgrijze, soms grofkristallijne, haliet, met een dikte van maximaal 40 m. Aan de top komen dunne (maximaal 2 m dikke) Kalium-Magnesium zoutlagen voor. Het KCl-gehalte bedraagt meer dan 18% (Brueren, 1959). In centrale en noordelijke delen van het kaartbladgebied bereikt het zout diktes van 500 tot 700 m. Binnen het Z2 Zout zijn drie cycli te onderscheiden die gescheiden worden door 1-2 m dikke polyhalietlagen (Geluk, 1995).
Polyhaliet ($K_2Ca_2Mg(SO_4)_4.2H_2O$) is op boorgatmetingen goed te herkennen door de hoge natuurlijke radioactiviteit in combinatie met een hoge akoestische snelheid. Aan de rand van het verbreidingsgebied van de eenheid ontbreekt lokaal het bovenste zoutpakket. Aan de top van het laagpakket komen Kalium-Magnesium zouten voor, met een dikte van 10 tot 25 m. Deze zijn het equivalent van het *Kaliflöz Stassfurt* in Duitsland. Deze lagen komen in het grootste deel van het kaartbladgebied voor (fig. 7.3a).

De *Z2 Dakanhydriet* bestaat uit grijze anhydriet met een dikte van 1 tot 12 m.

7.1.3 Z3 (Leine) Formatie

De Z3 (Leine) Formatie wordt onderverdeeld in het Grijze Zoutklei, het Z3 Carbonaat, het Z3 Hoofdanhydriet en het Z3 Zout Laagpakket.



Figuur 7.2 Diktekaarten en platformontwikkeling van (a) Z1 (Werra) Formatie, (b) Z2 Carbonaat, (c) Z3 Carbonaat en (d) Z3 Hoofdanhydriet. Zechstein laagpakketten hebben verschillende depocentra. Gegevens uit Duitsland zijn afkomstig van Baldschuhn et al. (1999).

De Grijze Zoutklei bestaat uit een 1 tot 8 m dikke grijze dolomitische kleisteen. Deze eenheid, met een karakteristiek hoge uitslag op de Gamma-Ray log, is zeer geschikt voor regionale correlaties.

De *Z3 Carbonaat* (Plattendolomiet) is opgebouwd uit een beige tot lichtbruine, sterk gelamineerde, micritische dolomiet. De dikte van Z3 Carbonaat bereikt op het zuidelijke deel van het Groningen Hoog een dikte van 25 m en in het zuiden van het kaartbladgebied een dikte van 40 m. In het zuiden van het kaartbladgebied bestaat de eenheid uit dolomiet. Deze vertoont een *vuggy* porositeit, veroorzaakt door selectieve oplossing van kalkige fossielen. Microbreuken in het gesteente zijn gevuld met laat-diagenetische anhydriet. Tussen deze gebieden varieert de dikte tussen 1 en 20 m (fig. 7.2c). In het midden en noordwesten van het kaartbladgebied vertoont de dolomiet een fijnkorrelige textuur.

De *Z3 Hoofdanhydriet* bestaat uit witte anhydriet met in het onderste deel carbonaat-inschakelingen en kleilaagjes. De dikte op het kaartblad varieert van enkele meters in het zuiden tot lokaal meer dan 100 m in het noordelijke deel (fig. 7.2d). De eenheid kan over korte afstanden soms aanmerkelijke diktever-schillen vertonen. Grote diktes komen voor in het zuiden van het kaartbladgebied, op het Friesland Platform en ten zuiden van het Groningen Hoog.

Het *Z3 Zout* is in het gehele kaartbladgebied aanwezig met uitzondering van het zuidwestelijke deel (fig. 7.3b). In het Centraal-Nederlands Bekken, in het uiterste zuiden van het gebied, bestaat de eenheid uitsluitend uit haliet met enkele dunne anhydrietlagen. De dikte van de eenheid bedraagt hier maximaal enkele tientallen meters.

In het noorden van het kaartbladgebied bereikt het Z3 Zout een dikte van circa 200 m. Binnen het laagpakket is een tweedeling te maken. Het onderste deel bestaat voornamelijk uit steenzout, terwijl het bovenste deel gekenmerkt wordt door twee Kalium-Magnesium zoutlagen, gescheiden door steenzout. Deze lagen komen in de gehele noordelijke helft van het kaartbladgebied voor. De opbouw van de Kalium-Magnesium zoutlagen is in detail onderzocht in het zoutkussen Veendam (Coelewij et al., 1978). Deze zouten bestaan hier uit een snelle verticale afwisseling van verschillende zoutlagen, waaronder carnalliet, kieseriet, silvien en het zeldzame bisschoffiet. Van het laatstgenoemde mineraal komen zelfs banken voor met een dikte tot 10 m. Binnen de regionale ontwikkeling van het Zechstein is dit opvallend; bisschoffiet wordt in het aangrenzende deel van Duitsland slechts zelden aangetroffen (Geluk, 1995).

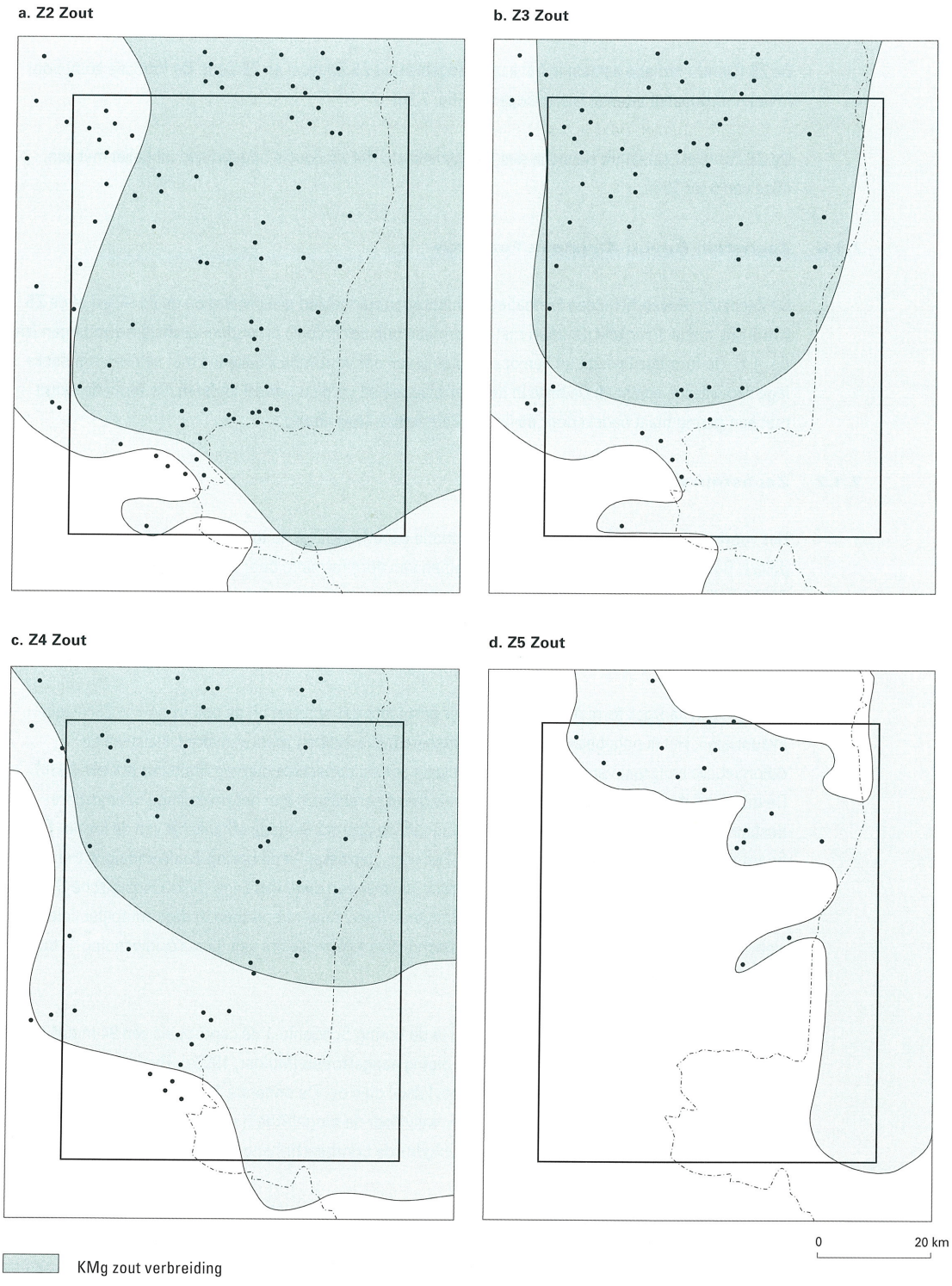
7.1.4 Z4 (Aller) Formatie

De Z4 (Aller) Formatie bestaat in het kaartbladgebied uit het Rode Zoutklei, het Z4 Pegmatiet-Anhydriet en het Z4 Zout Laagpakket. De formatie komt in het gehele gebied voor met uitzondering van het zuidwesten.

De Rode Zoutklei is 2 tot 10 m dik en bestaat uit rode anhydriet-houdende klei. De kleisteen is in het gehele kaartbladgebied ontwikkeld.

De Z4 Pegmatiet-Anhydriet bestaat uit witte anhydriet en ingeschakelde grote halietkristallen.
De eenheid is op de logs goed herkenbaar. Het laagpakket heeft een dikte van 1 tot 5 m.

In het Z4 Zout (fig. 7.3c) is een tweedeling te maken. Het onderste deel, met een dikte tot 75 m, bestaat uit een zuivere haliet met aan de top ervan een Kalium-Magnesium rijke zoutlaag. Hierboven bevindt zich een afwisseling van steenzout en kleisteenlagen. De dikte van het laagpakket bedraagt 10 tot 100 m. Op plaatsen waar het Z4 Zout dun is, is slechts het onderste deel aanwezig.



Figuur 7.3 Verbreidingskaarten van (a) Z2 Zout, (b) Z3 Zout, (c) Z4 Zout en (d) Z5 Zout. De verbreiding van Kalium-Magnesium zouten wordt getoond. Gegevens uit Duitsland afkomstig uit Best (1989).

7.1.5 Z5 (Ohre) Formatie

De Z5 (Ohre) Formatie bestaat in het kaartbladgebied uit Z5 Zoutklei en Z5 Zout. De formatie komt voor in het noordoosten van het kaartbladgebied (fig. 7.3d).

De *Z5 Zoutklei* bestaat uit kleisteen met halietkristallen. Het *Z5 Zout* is opgebouwd uit haliet met een dikte van 5 tot 30 m.

7.1.6 Zechstein Boven-Kleisteen Formatie

De Zechstein Boven-Kleisteen Formatie ligt in het kaartbladgebied disconform op de Z4 (Aller) of de Z5 (Ohre) Formatie. In enkele gevallen rust de formatie ook disconform op oudere Zechstein afzettingen (zie fig. 4.3). De formatie bestaat uit een opeenvolging van anhydritische kleistenen met een karakteristieke lage akoestische snelheid. De dikte in het kaartbladgebied varieert van 10 tot 50 m. De formatie wordt met een gering hiaat bedekt door de Onder-Germaanse Trias Groep.

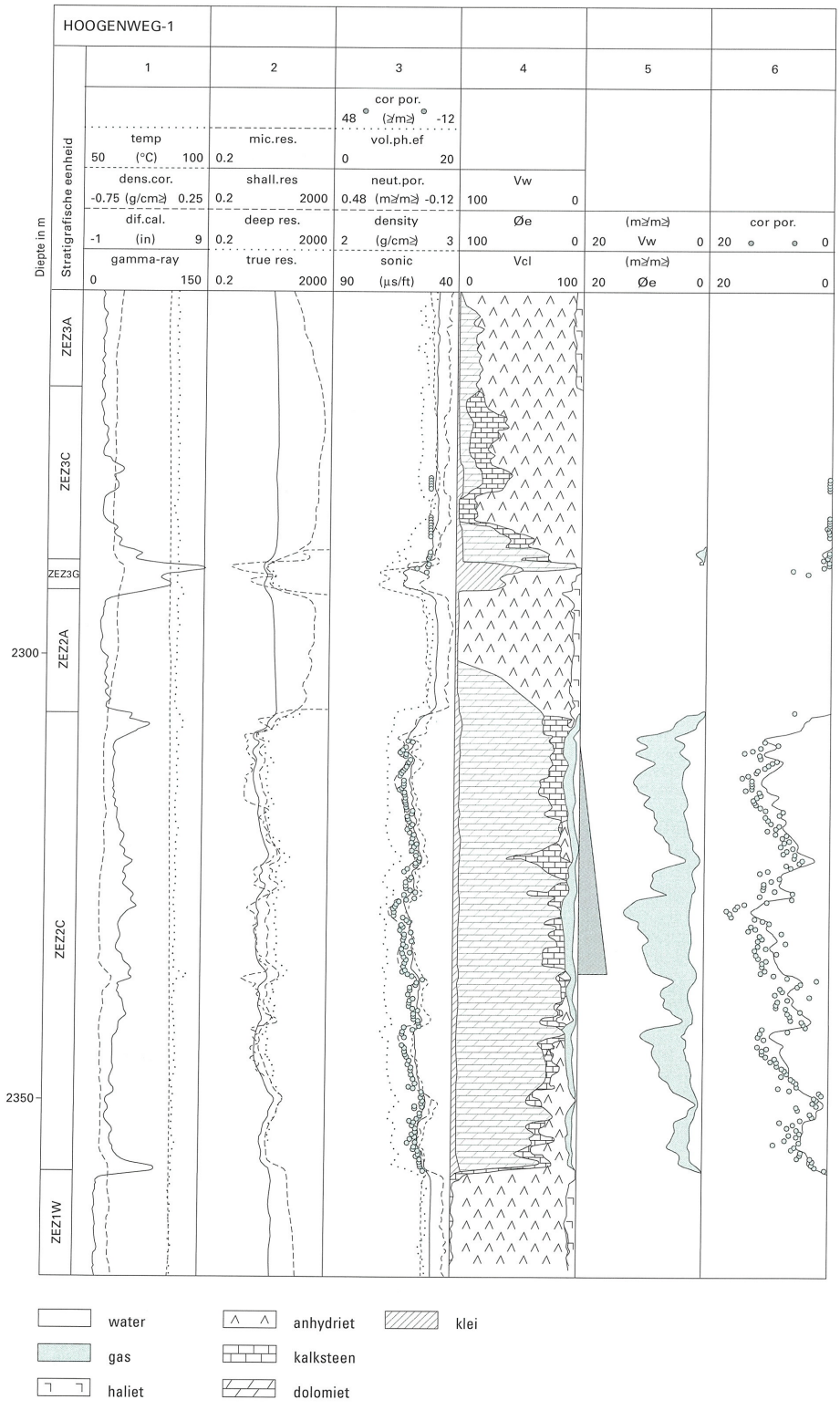
7.1.7 Zechstein caprock formatie

Het voorkomen van de Zechstein caprock formatie beperkt zich tot de top van ondiep gelegen zoutpijlers. Boven een aantal pijlers is het voorkomen van deze formatie door boringen bevestigd (Schoonlo, Zuidwending en Winschoten), terwijl boven andere zoutvoorkomens de aanwezigheid van de formatie op grond van het seismische signaal wordt aangenomen (Hooghalen, Onstwedde, Boertange, Gasselte-Drouwen).

De Zechstein caprock formatie is een residuair gesteente dat ontstaat bij de oplossing van Zechstein evaporieten. Het is opgebouwd uit slecht-oplosbare bestanddelen zoals anhydriet, kleisteen en dolomiet. De aangroei van de caprock vindt plaats aan de onderzijde hiervan (Battsche & Klarr, 1980). De dikte van de caprock kan sterk variëren en is direct gerelateerd aan het percentage onoplosbare bestanddelen in de evaporiet. De samenstelling van de caprock is mede afhankelijk van de lokale hydrogeologische condities en temperatuur. Een kern, getrokken in de boring Zuidwending-9, toonde hier een overwegend uit gips bestaande caprock aan met een dikte van 54 m (Rijks Geologische Dienst, 1993c). Slechts in de onderste meters komt anhydriet voor. Andere boringen in deze zoutpijler lieten zien dat de dikte van de caprock over korte afstand sterk kan wisselen, van 39 m (Zuidwending-1) tot 62 m (Zuidwending-8).

Op de zoutpijler Schoonlo daarentegen werd in de boring Schoonlo-1 de caprock als een 84 m dikke, overwegend uit anhydriet bestaande opeenvolging aangetroffen (Mulder, 1950a). Hierin trad in de bovenste 69 m volgens de beschrijving slechts lokaal gips op. De onderste 15 m van de caprock werd echter als veel hardere anhydriet beschreven, waardoor de mogelijkheid niet uitgesloten kan worden dat het bovenste gedeelte meer gips bevat dan volgens de boorbeschrijving werd aangegeven.

Het contactvlak tussen de caprock en het zout verschilt sterk van plaats tot plaats. Dit blijkt binnen het kaartbladgebied boven de zoutpijler Zuidwending. In de boring Zuidwending-4 werd een scherp contact tussen beide eenheden aangetroffen. In de boring Zuidwending-8 daarentegen werd een overgangszone van een enkele meters dik met sterk poreus anhydrietzand aangetroffen, hetgeen tot grote spoelingsverliezen leidde. De boring Zuidwending-9, enkele honderden meters van de voorafgaande boring verwijderd, trof slechts een enkele decimeters dik anhydrietzand aan (Rijks Geologische Dienst, 1993c).



Figuur 7.4 Petrofysische evaluatie van het traject van de Z2 en Z3 Carbonaat in de boring Hoogenweg-1.
Het kleigehalte werd bepaald m.b.v. de Gamma-Ray log. De effectieve porositeit en de gehalten aan dolomiet, kalksteen, anhydriet, haliet werden verkregen door gebruik te maken van ELAN. In kolom 1 o.a. de Gamma-Ray.
In kolom 2 zijn de weerstanden met verschillende indringdiepten weergegeven. In kolom 3 zijn o.a. de porositeitslogs neutron, density en sonic te zien. Kolom 4 geeft de ELAN-volumina's weer. In kolom 5 zijn de effectieve porositeit Fe (linker curve) en poriënvolume water V_w (rechter curve), beide in procenten weergegeven. Voor de bepaling van de watersaturatie werd de Indonesische formule gebruikt (Fertl, 1987). Bovendien is d.m.v. een trapezium het geteste interval weergegeven (appendix H).
In kolom 6 wordt de effectieve porositeit vergeleken met de kernporositeit.
In de linkerkolom zijn de formatiegrenzen aangegeven.
Diepten zijn werkelijke diepten.

7.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

De vijf indampingscycli van de Zechstein Groep zijn gevormd in een uitgestrekt bekken onder invloed van het aride klimaat en de periodieke instroming van zeewater. De cycli van de onderste drie formaties zijn door een opeenvolging van transgressies en regressies veroorzaakt (Ziegler, 1990). Na de derde transgressie werden de omstandigheden in het bekken blijvend hypersalien en speelden kortdurende klimaatwisselingen een belangrijke rol bij het ontstaan van de cycli (Geluk et al., 1997; Wagner, 1994). Een complete mariene indampingscyclus is opgebouwd uit kleisteen - carbonaat - anhydriet - steenzout - Kalium-Magnesium zouten - steenzout - anhydriet. De jongere, continentale, cycli bestaan overwegend uit kleisteen en steenzout.

De opeenvolging van de Zechstein Groep begint met de Koperschalie die is afgezet onder euxinische omstandigheden na de initiële transgressie (Taylor, 1998). De Z1 Carbonaat werd afgezet in een ondiep open marien milieu. Door een beperking van de circulatie in het bekken heersten hierna hypersaliene omstandigheden. In het bekken sloegen allereerst sulfaten neer. Tektonische activiteit zorgde voor een differentiatie van de paleogeografie binnen het gebied. De grote diktes van de Z1 Anhydriet op het Exloo en Kloosterhaar Anhydriet Platform werden veroorzaakt door hoge sedimentatiesnelheden ten gevolge van een geringe waterdiepte (Van der Baan, 1990). Elders in het kaartbladgebied was de waterdiepte veel groter en ontstond een sterk gecondenseerde opeenvolging. De overeenkomst tussen het voor - komen van de Onder-Rotliegend Groep en het Exloo Anhydriet Platform wijst op een structureel bepaalde locatie. Z1 Zout is slechts afgezet in het Centraal-Nederlands Bekken, lokaal ook in het zuidelijke deel van het gebied (fig. 7.2a).

Na de tweede transgressie werd de Z2 Carbonaat afgezet. Het faciesmodel omvat in het kaartbladgebied een bekken, een helling en een carbonaatplatform (Maureau & Van Wijhe, 1979; Clark, 1986; Van der Baan, 1990; Van de Sande et al., 1996; Geluk, 2000). De organisch-rijke dolomiet in het midden en noorden van het kaartbladgebied is typisch voor de bekkenfacies. Dikke opeenvolgingen van massieve carbonaten en dolomieten, met slumps en turbidieten zijn kenmerkend voor de hellingfacies. De platformfacies, in het zuiden en zuidoosten van het kaartbladgebied, wordt door oölieten, pisolieten, stromatolieten, bioklasten, anhydrietknollen en kalkkorsten gekenmerkt. Deze zijn indicatief voor afzetting in een gebied met ondiep water waar zowel hoog- als laag-energetische milieus voorkwamen en periodes van lage waterstand en blootstelling aan de atmosfeer.

Na de carbonaatafzetting onder normaal-saliene omstandigheden, werden wederom evaporieten gevormd. De dikste ontwikkeling van de Basale Anhydriet vond plaats langs de randen van de Z2 Carbonaat platforms. Hierna dampte de pekel in het bekken nog verder in en werden dikke pakketten haliet afgezet. In dit pakket zijn evenwel nog enkele cycli te herkennen die wijzen op periodische instroming van zeewater en fluctuaties in de concentratie van de pekel in het bekken (Geluk, 1995). Tegen het einde van de afzetting van het Z2 Zout nam de concentratie van de pekel nog verder toe en werden Kalium-Magnesium zoutlagen afgezet. De grote regionale verbreiding van deze zouten wijst erop dat het bekken niet geheel uitdroogde.

Met de transgressie van de Z3 (Leine) Formatie wordt een dun pakket kleisteen afgezet in het gehele gebied. Tussen Annerveen en Assen en in het zuidwesten van het kaartbladgebied zijn twee carbonaatplatforms ontwikkeld die worden opgebouwd uit fijnkorrelige dolomieten met grote bioklastische componenten. De Z3 Carbonaat is in het zuiden en in het noorden van het kaartbladgebied afgezet in een ondiep marien milieu. Tijdens de afzetting van de Hoofdanhydriet bevonden zich in grote delen van het kaartbladgebied platforms waar de anhydriet grote diktes kon bereiken.

Het Z3 Zout is in het grootste deel van het kaartbladgebied afgezet. Tijdens deze afzetting vormde het kaartbladgebied een geïsoleerd deelbekken dat geheel uitdroogde. Hierdoor werden de goed-oplosbare magnesiumzouten (b.v. bisschoffiet) afgezet die uit andere delen van het Zuidelijk Perm Bekken niet bekend zijn.

Na de transgressie aan het begin van de Z4 cyclus werden de Rode Zoutklei en Pegmatiet-Anhydriet afgezet. De condities in het bekken waren blijvend hypersalien geworden. De afzetting vond eerst nog onder mariene condities plaats, maar tijdens afzetting van de formatie werden de condities steeds meer playa-achtig. Het gebied van de zoutsedimentatie werd steeds kleiner.

Afzetting van de Z5 (Ohre) Formatie vond plaats op een playa-achtige vlakte aan de rand van het Zuidelijk Perm Bekken onder regressieve omstandigheden. Gedurende de Z5 cyclus is er slechts in het noorden van het kaartbladgebied haliet afgezet. Hierdoor werden de reliëfverschillen verder gereduceerd.

Met een hiaat rusten de afzettingen van de Zechstein Boven-Kleisteen Formatie op de Z4 (Aller) of de Z5 (Ohre) Formatie.

7.3 Petrofysische evaluatie

Van de Z2 en Z3 Carbonaat zijn tien boringen geëvalueerd. Het grootste deel van deze boringen ligt op de zuidelijke helft van het kaartbladgebied waar de meeste reservoirs voorkomen. De Z3 Carbonaat is in vijf boringen in het kaartbladgebied geëvalueerd. Als voorbeeld van een logevaluatie van het reservoir-traject van de Z2 en Z3 Carbonaat wordt in figuur 7.4 het resultaat getoond van de boring Hoogenweg-1.

Van 7 van de 10 geselecteerde boringen in het kaartbladgebied zijn kernanalyses beschikbaar (Coevorden-28, Dalen-1, Emmer-Compascuum-1, Emmen-13, Hoogenweg-1, Ommen-3 en Radewijk-1). De aan kernen gemeten porositeiten en permeabiliteiten zijn in het algemeen laag (0,5-5,6% en 0,3-1,2 mD voor de Z3 Carbonaat; 0,3-9,3% en 0,3-1,8 mD voor de Z2 Carbonaat). In appendix G zijn de resul- taten van de reservoirsommaties van de Zechstein carbonaten vermeld. Als cut-off waarde voor de porositeit is de lage waarde van 1% gebruikt.

De geëvalueerde trajecten van de Z2 en Z3 Carbonaten bestaan voornamelijk uit gedolomitiseerde platform- en hellingafzettingen. De porositeit is laag en de permeabiliteit berust op aanwezigheid van breukjes.

De Z2 Carbonaat binnen het kaartbladgebied wordt gekenmerkt door een sterke variatie in de lithologische kolom. In boringen in het zuidelijke deel van het gebied, op het platform, bestaat het reservoir voornamelijk uit dolomiet (Emmer-Compascuum-1, Hoogenweg-1, Dalen-1, Ommen-3, Emmen-13, Kloosterhaar-1), terwijl in het noorden, in het bekken, de eenheid voornamelijk uit kalksteen bestaat (Drouwenerveen-Zuideind-1, bovenste deel Coevorden-28). In het overgangsgebied tussen het platform en het bekken komt een afwisseling van dolomiet- en kalksteenzones voor (Eleveld-101). De eenheid bevat veel anhydriet in de boring Radewijk-1; dit geldt tevens voor het bovenste deel van het laagpakket in boring Dalen-1 en het onderste deel in Coevorden-28. In beide laatstgenoemde boringen is de porositeit laag en tevens vertoont deze sterke variatie over het reservoir-traject.

8 Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep

8.1 Algemeen

De Trias afzettingen bestaan voornamelijk uit rood- en groengekleurde klastische sedimenten en grijsgekleurde kalken, mergels en evaporieten. De afzettingen worden onderverdeeld in de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep met een jongste Laat-Perm tot Norien ouderdom.

De Trias afzettingen komen, met uitzondering van het Dalfsen Hoog en boven zoutstructuren, in het gehele kaartbladgebied voor. De grootste dikte van deze afzettingen, ruim 2200 m, wordt bereikt in het Eems Diep (Kaart 7). Sterke diktewisselingen zijn aan de Holsloot Breukzone en de randbreuk van het Eems Diep gerelateerd. Op het Friesland Platform is de dikte sterk gereduceerd ten gevolge van latere erosie. De afzettingen liggen concordant op de Zechstein Groep en kunnen discordant of disconform bedekt zijn door de Altena, de Nedersaksen of de Rijnland Groep of door de Noordzee Supergroep (Kaarten 18, 19 & 20).

De basis van de Trias afzettingen varieert in diepteligging van minder dan 1300 m op het Friesland Platform tot ruim 4200 m in het Nedersaksisch Bekken. De structuur van de basis van de Trias wordt gedomineerd door een aantal ONO-WZW gerichte syn- en antiformen (Kaart 6). De basis van de Trias afzettingen is in vergelijking met de bases van de Zechstein en de Altena Groep veel minder sterk verbroken (vergelijk Kaarten 3, 6 en 8). De lithostratigrafische opbouw van de Trias afzettingen wordt geïllustreerd met twee stratigrafische profielen (fig. 8.1 & 8.3).

8.2 Onder-Germaanse Trias Groep

8.2.1 Stratigrafie

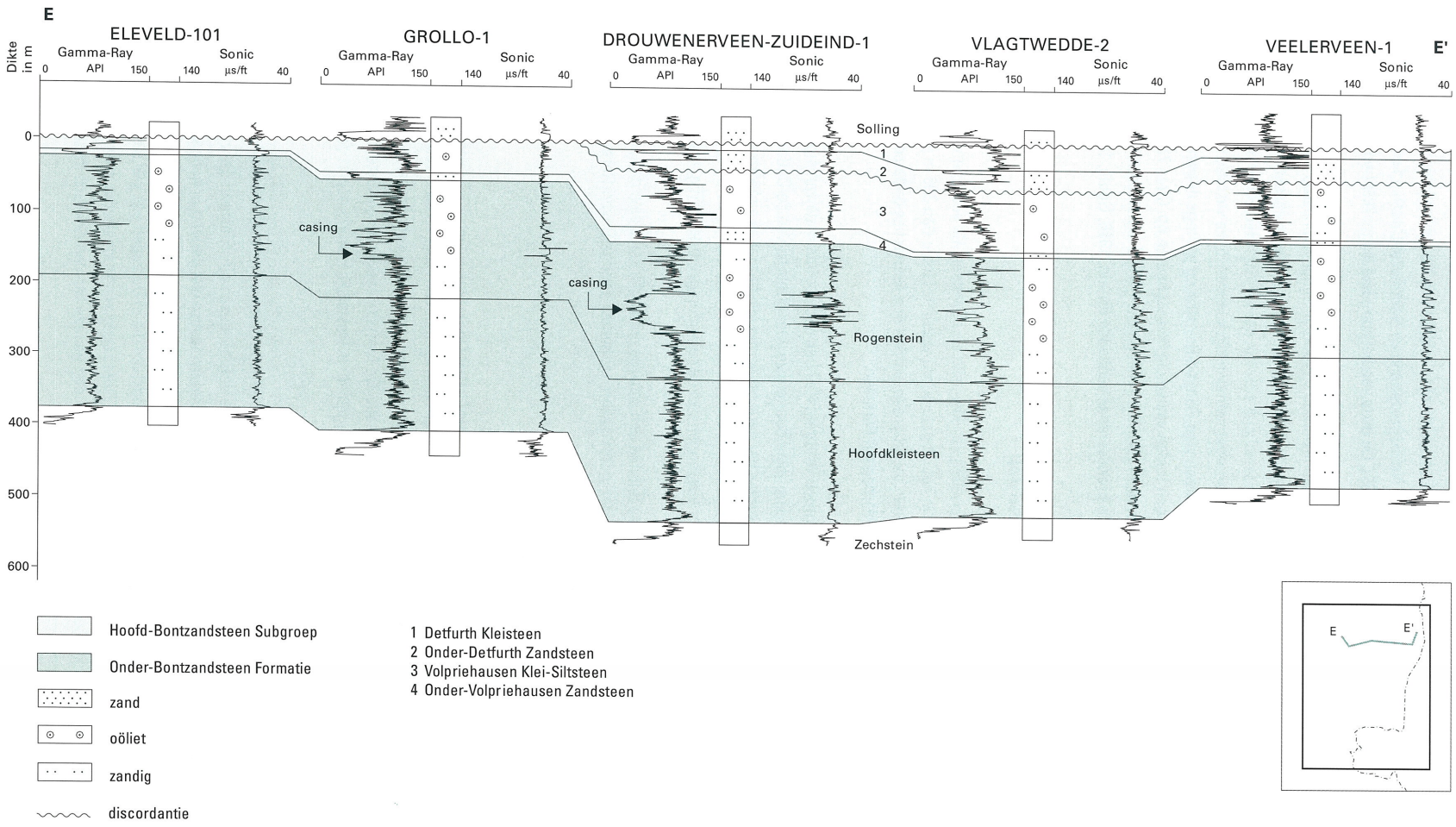
Binnen deze groep worden in het kaartbladgebied vier formaties onderscheiden, de Onder-Bontzand - steen, de Volpriehausen, de Detfurth en de Hardegsen Formatie. De eerstgenoemde formatie bestaat overwegend uit klei- en siltsteen, de overige formaties bestaan uit een afwisseling van zand- en kleistenen. De laatstgenoemde formaties worden tezamen beschreven als de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep (fig. 8.1). Binnen de groep komen aan de basis van de Volpriehausen en Detfurth Formatie kleine discordanties voor die lokaal erosie van enkele tientallen meters tot gevolg kunnen hebben (Geluk & Röhling, 1997, 1999).

De Onder-Germaanse Trias Groep ligt concordant op de Zechstein Groep en wordt discordant bedekt door de Boven-Germaanse Trias (fig. 8.3), de Nedersaksen, de Rijnland Groep, of door de Noordzee Supergroep (Kaarten 18, 19 & 20). De ouderdom van de Onder-Germaanse Trias Groep is jongste Laat-Perm tot Scythien.

8.2.2 Onder-Bontzandsteen Formatie

Deze formatie is opgebouwd uit het Hoofdkleisteen en het Rogenstein Laagpakket (fig. 8.1). De formatie wordt, met een scherpe grens die een kleine discordantie markeert, bedekt door de Hoofd-Bontzand- steen Subgroep, of discordant door de Boven-Germaanse Trias, de Nedersaksen, de Rijnland Groep, of door de Noordzee Supergroep. De formatie is zeer gelijkmatig van dikte en lithologie en is door zijn transparante karakter goed herkenbaar op seismische profielen. De dikte neemt in noordoostelijke richting toe tot ruim 350 m (fig. 8.2a).

De *Hoofdkleisteen* is opgebouwd uit een cyclische opeenvolging van 20 tot 35 m dikke, naar boven toe verfijnende, klei-siltsteen sequenties met aan de basis fijnkorrelige zandsteenbanken. Naar het zuiden



Figuur 8.1 Stratigrafisch profiel E-E' van de Onder-Germaanse Trias Groep tussen de boringen Eleveld-101, Grollo-1, Drouwenerveen-Zuideind-1, Vlagtwedde-2 en Veelerveen-1. Dit profiel toont de verdikking in oostelijke richting van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep en de discordante bedekking door de Solling Formatie. Het referentie-niveau is de basis van de Solling Formatie.

van het kaartbladgebied nemen deze zandsteenbanken in dikte toe. De cyclische opbouw laat zich zeer goed correleren op regionale schaal in Noord-Nederland en Noordwest-Duitsland en geeft een zeer uniform beeld (Geluk & Röhling, 1997, 1999). De dikte van het complete laagpakket bedraagt 150 tot 200 m.

De *Rogenstein* bestaat uit rood- en groengekleurde fijnzandige, fijngelamineerde klei- en siltstenen met veel glimmers en oölietbanken. Het laagpakket bestaat eveneens uit een cyclische afwisseling van grovere en fijnere afzettingen, maar onderscheidt zich van de Hoofdkleisteen door het veelvuldig voorkomen van oölieten die het pakket op boorgatmetingen zijn karakteristieke verschijningsvorm geven. De oölietbanken zijn gekenmerkt door een lage Gamma-Ray straling en hoge akoestische snelheid (fig. 8.1). In de fijnkorrelige afzettingen treden veelvuldig krimpscheuren op. Circa 75 m boven de basis komen vier tot zes karakteristieke banken voor die in het gehele gebied te herkennen zijn. In het De Wijk veld vormen de oölieten een van de producerende eenheden (Bruijn, 1996; Gdula, 1983). De dikte van het laagpakket bedraagt 150 tot 200 m.

8.2.3 Hoofd-Bontzandsteen Subgroep

Deze subgroep bestaat uit een afwisseling van klei-, silt- en zandsteen. De subgroep neemt in oostelijke richting in dikte toe van circa 50 m in het uiterste noordwesten tot meer dan 300 m juist ten oosten van het kaartbladgebied (fig. 8.2b). Binnen de subgroep worden drie forma- ties onderscheiden; de Volpriehausen, de Detfurth en de Hardegsen Formatie.

Het verschil in dikte van deze subgroep wordt primair bepaald door de mate van erosie voor de afzetting van de Solling Formatie en in mindere mate door erosie voor afzetting van de Detfurth Formatie. In het Eems Diep, in het oosten, was de erosie het geringst en zijn alle formaties aanwezig; in het westen van het kaartbladgebied was de erosie het sterkst en is slechts een deel van de Volpriehausen Formatie gespaard gebleven. Lokaal zijn alle afzettingen van de subgroep geërodeerd (fig. 8.2b).

De Hoofd-Bontzandsteen Subgroep ligt met een scherpe grens, die een kleine discordantie markeert, op de Onder-Bontzandsteen Formatie en wordt discordant bedekt door de Boven-Germaanse Trias Groep of de Noordzee Supergroep.

8.2.3.1 Volpriehausen Formatie

De Volpriehausen Formatie wordt onderverdeeld in het Onder-Volpriehausen Zandsteen en het Volpriehausen Klei-Siltsteen Laagpakket. De formatie ligt met een hiaat op de Onder-Bontzandsteen Formatie en wordt discordant bedekt in het noordoosten door de Detfurth Formatie en in andere delen van het kaartbladgebied door de Solling Formatie. De formatie bereikt de grootste dikte, ruim 130 m, in het Eems Diep in het oosten van het kaartbladgebied; in westelijke richting neemt de dikte ten gevolge van erosie af.

De *Onder-Volpriehausen Zandsteen* ligt met een scherpe grens op de onderliggende formatie en wordt, eveneens met een scherpe grens, bedekt door de Volpriehausen Klei-Siltsteen. De zandsteen is over het algemeen fijnkorrelig en kalkhoudend. De dikte van het laagpakket varieert in het gebied van minder dan 10 m in het westen tot lokaal circa 35 m in het Eems Diep. In het zuidoosten van het kaartbladgebied bevindt zich onderin het laagpakket een extra zandsteen die in Duitsland ook wel als de Quickborn zandsteen bekend staat (Geluk & Röhling, 1999). Deze zandsteen komt slechts in een beperkt gebied voor (fig. 8.2c) en wordt door kleiklasten en een hoog gehalte aan carbonatisch materiaal gekenmerkt.



Figuur 8.2 Diktekaarten van: a. Onder-Bontzandsteen Formatie; b. Hoofd-Bontzandsteen Subgroep. c. Onder-Volpriehausen Zandsteen; d. Solling Formatie. Gegevens uit het aangrenzende Duitse gebied zijn afkomstig uit Baldschuhn et al. (1999).

De *Volpriehausen Klei-Siltsteen* bestaat uit een cyclisch opgebouwd pakket van rode, fijnzandige klei-siltsteen met rood tot groene, fijnkorrelige zandsteenbanken. De zandsteenbanken bevatten soms oölieten. De eenheid ligt met een scherpe grens op de Onder-Volpriehausen Zandsteen en wordt discordant bedekt door de Onder-Detfurth Zandsteen of de Solling Formatie. De meest complete opeenvolging, ruim 120 m, is bewaard gebleven in het Eems Diep; naar het westen neemt de dikte ten gevolge van erosie af tot circa 50 m.

8.2.3.2 Detfurth Formatie

De Detfurth Formatie wordt onderverdeeld in het Onder-Detfurth Zandsteen en het Detfurth Kleisteen Laagpakket. De formatie is aanwezig in het oosten en midden van het kaartbladgebied. De Detfurth Formatie ligt met een kleine discordantie op de Volpriehausen Formatie en wordt concordant bedekt door de Hardegsen Formatie of discordant door de Solling Formatie. De formatie bereikt de grootste dikte van ruim 90 m in het Eems Diep. Naar het westen toe neemt de dikte vrij snel af. Deels is dit het gevolg van een primaire dikteafname, maar vooral van de erosie aan de basis van de Solling Formatie.

De *Onder-Detfurth Zandsteen* bestaat uit een complex van middelfijne tot grofkorrelige, roodbruine zandsteen en eveneens roodgekleurde klei-siltsteen lagen. De eenheid vertoont een zeer consistente opbouw binnen het gebied en wordt door de inschakeling van een klei-siltsteenpakket in twee zandsteenintervallen verdeeld. Het onderste (ca. 20 m dik) bevat een roodgekleurd klei-siltsteenpakket met een dikte van 5 tot 7 m. De zandstenen vertonen een geblokt karakter op de boorgatmetingen, of een naar boven toenemend kleigehalte. De zandsteen is met kalk, anhydriet of kwarts gecementeerd.
Het 10 m klei-siltsteen pakket tussen beide zandsteenintervallen is roodbruin van kleur en bevat enige kalklaagjes. Het bovenste zandsteeninterval, met een dikte van 10 m, heeft een blokkig karakter op de boorgatmetingen.

De *Detfurth Kleisteen* is opgebouwd uit fijnzandige of siltige, overwegend roodbruine kleisteen. De kleisteen bevat enkele banken van met kalk- of kwartscement gecementeerde fijn- tot middelgrove zandsteen. In de kleisteen treden veelvuldig krimpscheuren op (Wolburg, 1961). De maximale dikte van de eenheid bedraagt ruim 35 m in het Eems Diep; naar het westen toe wordt de dikte gereduceerd door het insnijden van de basis van de Solling Formatie. De eenheid vormt met zijn karakteristieke hoge Gamma-Ray straling een goede logcorrelatie-marker.

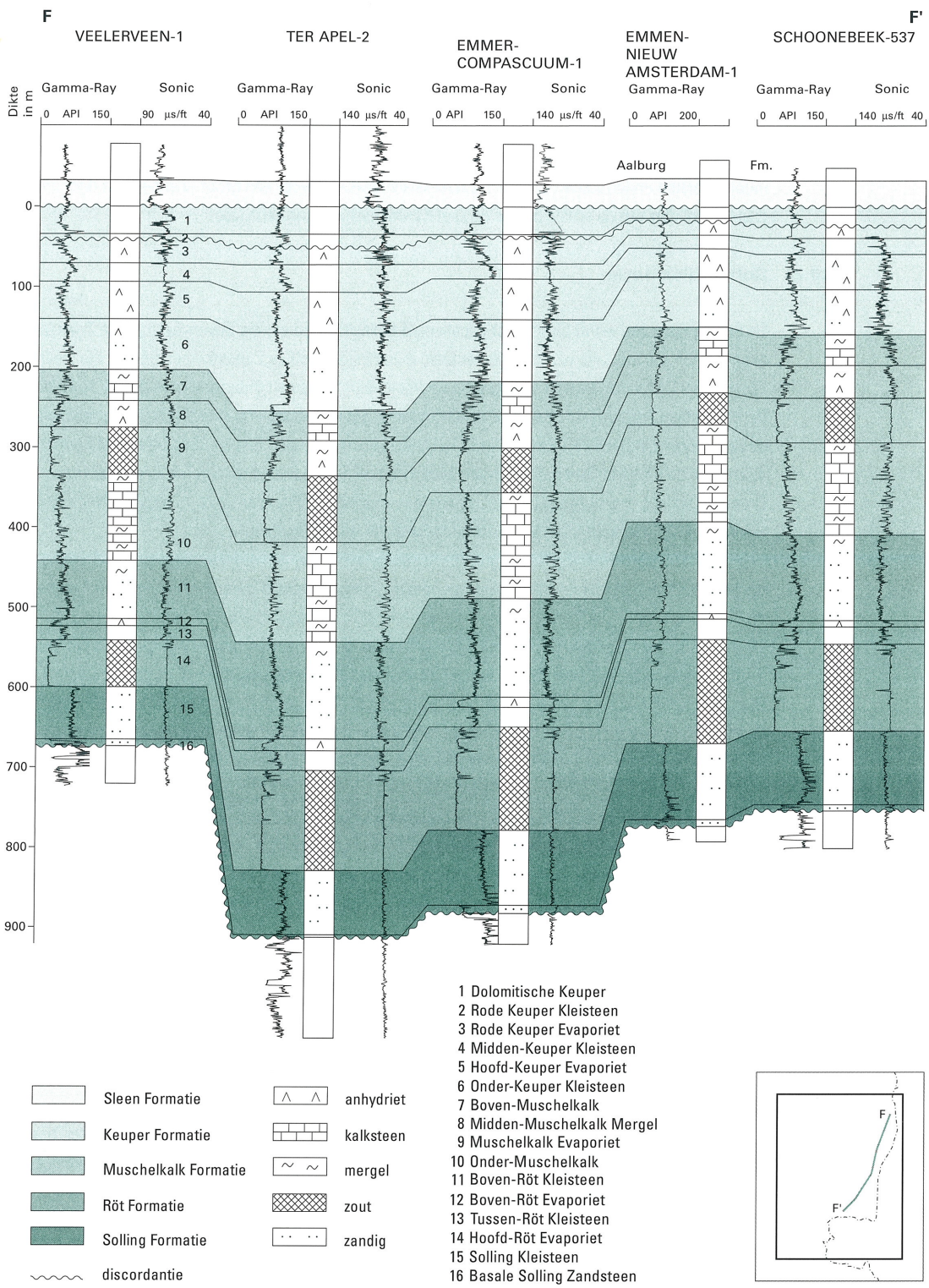
8.2.3.3 Hardegsen Formatie

Afzettingen van de Hardegsen Formatie zijn slechts in enkele boringen in het Eems Diep aangetroffen. Deze formatie bestaat uit een snelle afwisseling van dunne laagjes middelgrove, kalk- of kwarts-gecementeerde zandsteen en siltige of fijnzandige kleisteen. De afzettingen zijn roodbruin, lokaal grijs van kleur. De dikte van de formatie bedraagt in het Eems Diep door erosie nog slechts maximaal 25 m.
Ten oosten van het kaartbladgebied neemt de dikte toe tot ruim 200 m (Boigk, 1961).

8.3 Boven-Germaanse Trias Groep

8.3.1 Stratigrafie

De Boven-Germaanse Trias Groep is opgebouwd uit vier formaties, te weten de Solling, de Röt, de Muschelkalk en de Keuper Formatie. De Solling en de Röt Formatie staan tezamen informeel als de *Boven-Bontzandsteen* bekend. De groep is bijna in het gehele kaartbladgebied aanwezig, uitgezonderd in de meest noordelijke en westelijke strook (fig. 8.2d, 8.4a-d). De groep rust discordant op de Onder-



Figuur 8.3 Stratigrafisch profiel F-F' van de Boven-Germaanse Trias Groep tussen de boringen Veelerveen-1, Ter Apel-2, Emmercompascuum-1, Emmen-Nieuw Amsterdam-1 en Schoonebeek-537. Het referentieniveau is de basis van de Altena Groep.

Germaanse Trias Groep en wordt, concordant of discordant, bedekt door de Altena, de Nedersaksen en de Rijnland Groep (Kaarten 18, 19 & 20). De ouderdom van de groep is Laat-Scythien tot Norien.

De meest noordelijke verbreidingsgrens valt samen met de zuidrand van het Groningen Hoog. De grootste dikte van de Boven-Germaanse Trias Groep, ruim 900 m, wordt bereikt in het Eems Diep. Lokaal kan de groep ontbreken ten gevolge van zoutbewegingen of tektonische opheffing. De dikte-afname ten (noord-)westen en ten zuiden van het Nedersaksisch Bekken is voor een groot deel bepaald door het dieper insnijden van de erosie tijdens de Laat-Kimmerische tektonische fase.

8.3.2 Solling Formatie

De Solling Formatie wordt binnen het gehele verbreidingsgebied van de Boven-Germaanse Trias Groep aangetroffen. De formatie wordt onderverdeeld in het Basale Solling Zandsteen en Solling Kleisteen Laagpakket. De formatie rust discordant op de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep of lokaal op de Onder-Bontzandsteen Formatie. In oostelijke richting gaande ligt de formatie op steeds jongere formaties van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep (fig. 8.1). Op de Solling Formatie rust concordant de Röt Formatie of discordant de Rijnland Groep. De formatie bereikt een dikte van ruim 110 m in het zuidoosten van Drenthe. De dikte neemt zowel in noordelijke als in westelijke richting af tot 60 m nabij de *Netherlands Swell* (fig. 8.2d). De ouderdom van de Solling Formatie is Laat-Scythien.

De *Basale Solling Zandsteen* bestaat uit een opeenvolging van een of meer fijnkorrelige zandsteenlagen en dunne kleisteenlagen. De zandstenen hebben een blokkige expressie op de Gamma-Ray log.
De Basale Solling Zandsteen is, behoudens enkele gebieden in het noorden en het zuiden, altijd in de formatie aangetroffen. De zandsteen varieert in dikte tussen enkele meters en 15 m. De grootste dikte wordt bereikt in het zuidoosten van het kaartbladgebied. Dit voorkomen sluit aan bij een gebied in Duitsland met eveneens dikke, grofkorrelige zanden aan de basis van de Solling Formatie, hier *Döthlingen-Sandstein* genoemd (Baldschuhn et al., 1996, 1999; Beutler et al. 1992).

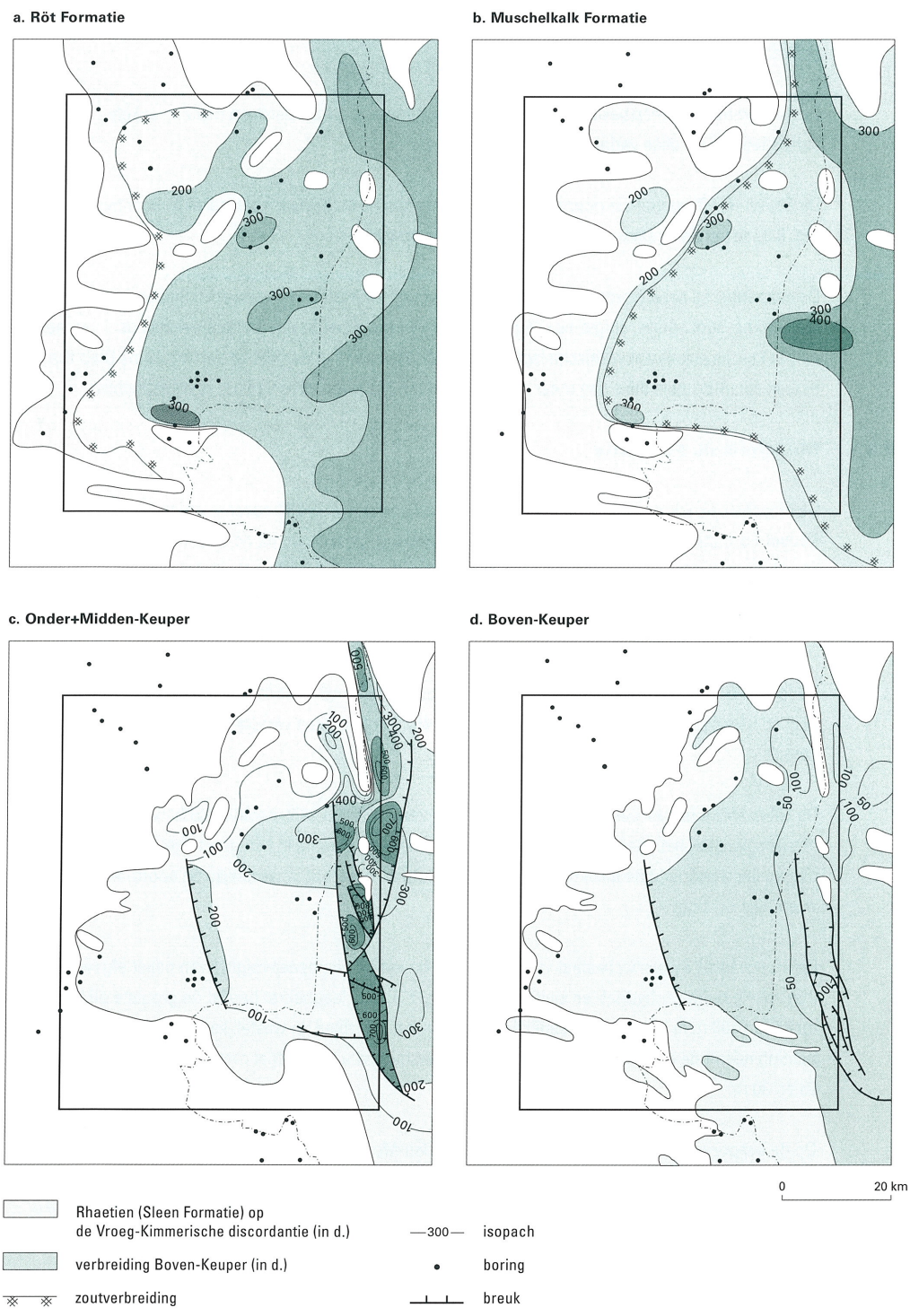
De *Solling Kleisteen* vertegenwoordigt het grootste deel van de formatie en bestaat uit roodbruine, soms groengevlekte kleisteen. In het onderste deel van het laagpakket treden grijze lagen op die door hoge Gamma-Ray straling worden gekenmerkt. In het middelste deel van het laagpakket komen enkele siltige en soms zandige lagen voor. In de kleisteen komen anhydrietconcreties voor. De dikte van de Solling Kleisteen bedraagt maximaal ruim 90 m.

8.3.3 Röt Formatie

De Röt Formatie wordt onderverdeeld in het Hoofd-Röt Evaporiet, het Tussen-Röt Kleisteen, het Boven-Röt Evaporiet en het Boven-Röt Kleisteen Laagpakket. De formatie heeft een Anisien ouderdom.

De Röt Formatie komt binnen vrijwel het gehele verbreidingsgebied van de Boven-Germaanse Trias Groep voor. De grootste dikte, meer dan 250 m, wordt bereikt in het zuidoostelijke en zuidelijke deel van het kaartbladgebied (fig. 8.4a). De dikte neemt af in westelijke en noord- en zuidwestelijke richting.

De *Hoofd-Röt Evaporiet* bestaat hoofdzakelijk uit wit doorschijnend, soms oranjebruin haliet, afgewisseld met dunne anhydriethoudende kleisteenlagen. Door deze afwisseling zijn vier cycli te herkennen in dit laagpakket die lokaal met de letters a-d worden aangeduid (TNO-NITG, 1998).
Het bovenste deel (tot 15 m) bestaat uit anhydriet afgewisseld met kleisteen. De grootste dikte, meer dan 180 m, wordt bereikt in het oostelijke deel van het kaartbladgebied. Haliet wordt vrijwel overal



Figuur 8.4 a. Verbreiding en dikte van de Röt Formatie; b. Verbreiding en dikte van de Muschelkalk Formatie; c. Verbreiding en dikte van de Onder-Keuper Kleisteen, Hoofd-Keuper Evaporiet, Midden-Keuper Kleisteen en Rode Keuper Evaporiet laagpakketten in het kaartblad- gebied. Gegevens uit het Duitse gedeelte zijn vereenvoudigd en ontleend aan Baldschuhn et al. (1998). d. Verbreiding en dikte van de Rode Keuper Kleisteen, Dolomitische Keuper en Boven-Keuper Kleisteen laagpakketten, tezamen informeel de Boven-Keuper. Gegevens uit het aangrenzende Duitse deel zijn ontleend aan Baldschuhn et al. (1998).

aangetroffen in het gebied, behalve in het uiterste zuiden en in het noordwesten waar de eenheid uit anhydriet bestaat (fig. 8.4a).

De *Tussen-Röt Kleisteen* bestaat uit roodbruine tot plaatselijk grijze kleisteen met een enkele anhydrietlaag. De dikte varieert tussen 10 en 30 meter.

De *Boven-Röt Evaporiet* die doorgaans niet dikker is dan 20 m, bestaat hoofdzakelijk uit anhydriet (fig. 8.3). In het Eems Diep is een dunne halietlaag aanwezig.

De evaporitische serie wordt afgedekt door de *Boven-Röt Kleisteen.* Dit pakket is opgebouwd uit roodbruine, soms grijze, enigszins siltige klei en kleisteen. In het basale en het bovenste deel van het pakket komen enkele anhydritische lagen voor. De dikte neemt in de richting van het Eems Diep toe en bereikt een maximale dikte van meer dan 125 meter in het zuidoosten van het kaartbladgebied.

8.3.4 Muschelkalk Formatie

De Muschelkalk Formatie ligt concordant op de Röt Formatie en wordt concordant bedekt door de Keuper Formatie of door de Altena Groep. De formatie is opgebouwd uit de Onder-Muschelkalk, de Muschelkalk Evaporiet, de Midden-Muschelkalk Mergel en de Boven-Muschelkalk Laagpakketten.
De Muschelkalk Evaporiet en Midden-Muschelkalk Mergel staan tezamen informeel als *Midden-Muschelkalk* bekend. De Muschelkalk Formatie is afgezet gedurende het Laat-Anisien tot Laat-Ladinien.

De formatie komt in vrijwel het gehele kaartbladgebied voor met uitzondering van het meest westelijke deel en lokaal in het noorden en het zuiden (fig. 8.4b). In het oosten worden diktes van meer dan 300 m bereikt.

De *Onder-Muschelkalk* bestaat uit een afwisseling van grijswitte kalk- en dolomietbanken en grijze mergels, waarbij het aandeel dolomietbanken naar de top afneemt. In een groot deel van het verbreidingsgebied bedraagt de dikte meer dan 140 m. De dikte neemt af in westelijke en noord- en zuidwestelijke richting.

De *Muschelkalk Evaporiet* bestaat van onder naar boven uit een opeenvolging van haliet afgewisseld met enkele dunne anhydriet- en kleisteenlagen (fig. 8.3). Het laagpakket bereikt de grootste dikte van meer dan 100 m in het meest oostelijke gebied van het kaartblad. In westelijke, noord- en zuidwestelijke richting neemt de dikte af en bestaat de eenheid uitsluitend uit anhydriet met een dikte variërend tussen 25 en 30 m.

Op de evaporieten volgt de 20 tot 30 m dikke *Midden-Muschelkalk Mergel,* bestaande uit lichtgrijze, soms groen- tot bruingrijze mergels en kleisteen met aan de basis enkele anhydrietbanken. Karakteristiek voor de eenheid is de naar de top toenemende Gamma-Ray en afnemende akoestische snelheid (fig. 8.3).

De bovenste kalkige eenheid, de *Boven-Muschelkalk,* is opgebouwd uit een afwisseling van grijze en groengrijze dolomiet-, kalk- en mergellagen. Het aandeel van de dolomietbanken neemt af naar boven. De basis wordt gevormd door zeer goed correleerbare massieve dolomietbank, de zgn. *Trochitenkalk.* De dikte van de gehele eenheid varieert tussen 25 en 60 meter zonder duidelijk waarneembare trend.

8.3.5 Keuper Formatie

De Keuper Formatie bestaat uit een afwisseling van kleisteen en evaporietpakketten. De formatie wordt onderverdeeld in de Onder-Keuper Kleisteen, de Hoofd-Keuper Evaporiet, de Midden-Keuper Kleisteen, de Rode Keuper Evaporiet, de Rode Keuper Kleisteen, de Dolomitische Keuper en de Boven-Keuper Kleisteen Laagpakketten. De ouderdom is Laat-Ladinien tot Norien.

De verbreiding is beperkt tot het Nedersaksisch Bekken en de dikte neemt in oostelijke en zuidoostelijke richting toe (fig. 8.4c,d). De grootste dikte, meer dan 1000 m, wordt bereikt in een N-Z verlopende, complexe slenk in het oosten van het kaartbladgebied (fig. 8.4c). De formatie ligt met een klein hiaat op de afzettingen van de Muschelkalk Formatie. In het Eems Diep wordt de formatie met een hiaat bedekt door de Altena Groep, buiten dit gebied discordant door laatstgenoemde groep. In het zuiden en westen van het kaartbladgebied ligt de Rijnland Groep discordant op de formatie.

De *Onder-Keuper Kleisteen* bestaat uit groengrijze en roodbruine, dolomitische kleisteen met anhydriet in laagjes en knollen. De eenheid varieert gewoonlijk in dikte tussen 30 en 100 m; in het Eems Diep echter bedraagt de dikte lokaal meer dan 170 m.

In het oostelijke deel van het kaartbladgebied ligt de *Hoofd-Keuper Evaporiet* op het basale kleisteenpakket. Deze eenheid bestaat uit een afwisseling van anhydriet en anhydritische kleisteen. De dikte van deze eenheid varieert tussen 30 en 65 m. In het uiterste noordoosten en ten oosten van het kaartbladgebied treden halietlagen in deze eenheid op en bereikt deze een dikte van meer dan 550 m in breukbegrensde depressies (Frisch & Kockel, 1997).

De *Midden-Keuper Kleisteen* heeft in het grootste deel van het gebied een dikte tussen 10 en 30 m. De eenheid bestaat uit kleisteen met een enkele anhydrietlaag. De kleisteen heeft een blokkig karakter op de Gamma-Ray log. In de eenheid komen dunne zandsteenlagen voor. In het Eems Diep bereikt de eenheid lokaal diktes van 80 tot ruim 150 m. Ten zuiden van het Groningen Hoog rust deze eenheid discordant op de Onder-Keuper Kleisteen (boring Oude Pekela-1); ditzelfde is waargenomen in het aangrenzende Duitse gebied (Wolburg, 1967, 1969).

De *Rode Keuper Evaporiet* omvat een afwisseling van witte tot roze anhydriet en grijze tot bruine anhydritische kleisteen. Het typerende voor deze eenheid zijn meerdere, dunne anhydrietlagen. De dikte varieert gewoonlijk tussen 10 en 30 m, maar bereikt ruim 60 m in het noordoosten.

Op deze evaporitische eenheid volgt de *Rode Keuper Kleisteen*, waarvan de dikte varieert tussen 2 en 20 m. De dikte neemt in zuidelijke en westelijke richting af. Naast roodgekleurde kleisteen treedt tevens groene kleisteen op. Dit laagpakket is voor het uitvoeren van regionale correlaties van groot belang, daar aan de basis hiervan de Vroeg-Kimmerische discordantie ligt. De grootste dikte, ruim 50 m, wordt juist ten oosten van het kaartbladgebied bereikt in het Eems Diep.

De *Dolomitische Keuper* is opgebouwd uit een afwisseling van kleisteen met meerdere anhydriet- en dolomietlagen. Het laagpakket kenmerkt zich door een opvallend lichte kleur. De eenheid is alleen in het oostelijke deel van het kaartbladgebied aangetroffen. De dikte neemt in zuidwestelijke richting af. De maximale dikte bedraagt 50 m in het oosten van het kaartbladgebied. In Duitsland staat deze eenheid tezamen met de Rode Keuper Kleisteen bekend als de *Steinmergelkeuper*.

De *Boven-Keuper Kleisteen* is slechts in het oostelijke deel van het kaartbladgebied aangetroffen. De dikte die hier bereikt wordt is maximaal 20 m en het laagpakket bestaat hoofdzakelijk uit grijze, siltige kleistenen en mergels.

Tezamen zijn de Rode Keuper Kleisteen, de Dolomitische Keuper en de Boven-Keuper Kleisteen hier als de informele *Boven-Keuper* onderscheiden. De dikte van deze laagpakketten wordt getoond in figuur 8.4d.

8.4 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

De aan het eind van het Zechstein ingezette influx van klastisch materiaal vanuit het zuiden zette zich voort in de Trias. De Onder-Germaanse Trias Groep werd afgezet in een groot continentaal bekken dat in essentie hetzelfde was als tijdens afzetting van het Zechstein. Tijdens de Trias heersten aanvankelijk continentale afzettingscondities die door een geleidelijke stijging van de zeespiegel een steeds sterker marien karakter kregen. De zeespiegel bereikte zijn hoogste stand tijdens de afzetting van de Muschelkalk Formatie. Tektonische bewegingen vonden tijdens twee fasen plaats: de Hardegsen fase leidde tot een hiaat tussen de Onder- en de Boven-Germaanse Trias Groep (fig. 8.1) en de Vroeg-Kimmerische fase resulteerde in een hiaat binnen de Boven-Germaanse Trias Groep of tussen deze groep en de Altena Groep.

De Onder-Bontzandsteen Formatie bestaat overwegend uit lacustriene afzettingen met brakwater invloed. Het cyclische karakter van deze afzettingen wordt toegeschreven aan klimaatcycli, zogenaamde Milankovitch cycli, met een periodiciteit van 100.000 jaar (Geluk & Röhling, 1997, 1999). De oölieten in het bovenste deel van de Onder-Bontzandsteen Formatie zijn gevormd in brakwater, in een hoog-energetisch milieu, tijdens periodes van lage klastische influx (Peryt, 1975). Droogvallen van het meer veroorzaakte zowel roodkleuring van de sedimenten als het ontstaan van krimpscheuren.

Tijdens de afzetting van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep breidden riviersystemen zich episodisch vanuit het zuiden over het gehele kaartbladgebied uit. De afzetting van zanden (Onder-Volpriehausen Zandsteen, Onder-Detfurth Zandsteen) werd hierdoor afgewisseld met die van fijnkorrelige lacustriene afzettingen (Volpriehausen Klei-Siltsteen, Detfurth Kleisteen). Aan de basis van deze zandstenen zijn kleine discordanties aangetoond; in het bijzonder vóór de afzetting van de Detfurth Formatie is relatief sterke erosie opgetreden die resulteert in de afwezigheid van het bovenste deel van de Volpriehausen Klei-Siltsteen (Geluk & Röhling, 1997, 1999).

De discordantie aan de basis van de Boven-Germaanse Trias Groep (Solling Formatie) is prominent aanwezig in het kaartbladgebied. Deze groep bedekt in het westen, op de *Netherlands Swell*, de oudste afzettingen van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep en in het Eems Diep de jongste afzettingen (fig. 8.2, 14.4). De groep toont een afwisseling van continentale naar meer mariene afzettingsomstandigheden.

De Solling Formatie weerspiegelt een transgressie vanuit oostelijke richting. Afsluiting van de verbinding met de zee en indamping van het aanwezige water in het bekken leidden tot de afzetting van de zout en anhydriet van de Hoofd- en Boven-Röt Evaporiet. Deze evaporieten werden gevolgd door een pakket kleistenen. Tijdens afzetting van het bovenste deel van de Röt Formatie zette de transgressie door en gingen er geleidelijk normaal-mariene omstandigheden in het bekken heersen. Hierop duidt de toename van het aantal ingeschakelde kalkbanken. Door deze transgressie werden de brongebieden van sediment in toenemende mate door de zee overspoeld en maakte de afzetting van klastische sedimenten plaats voor een kalk-gedomineerde opeenvolging van de Muschelkalk Formatie. De Onder-Muschelkalk werd onder ondiep mariene tot supratidal omstandigheden afgezet, terwijl het opnieuw afsluiten van de verbinding tussen het Noordwest-Europese Bekken en de Tethys tot de afzetting van de Muschelkalk Evaporiet en Midden-Muschelkalk Mergel leidde. De Boven-Muschelkalk werd vervolgens weer onder normaal-mariene omstandigheden afgezet.

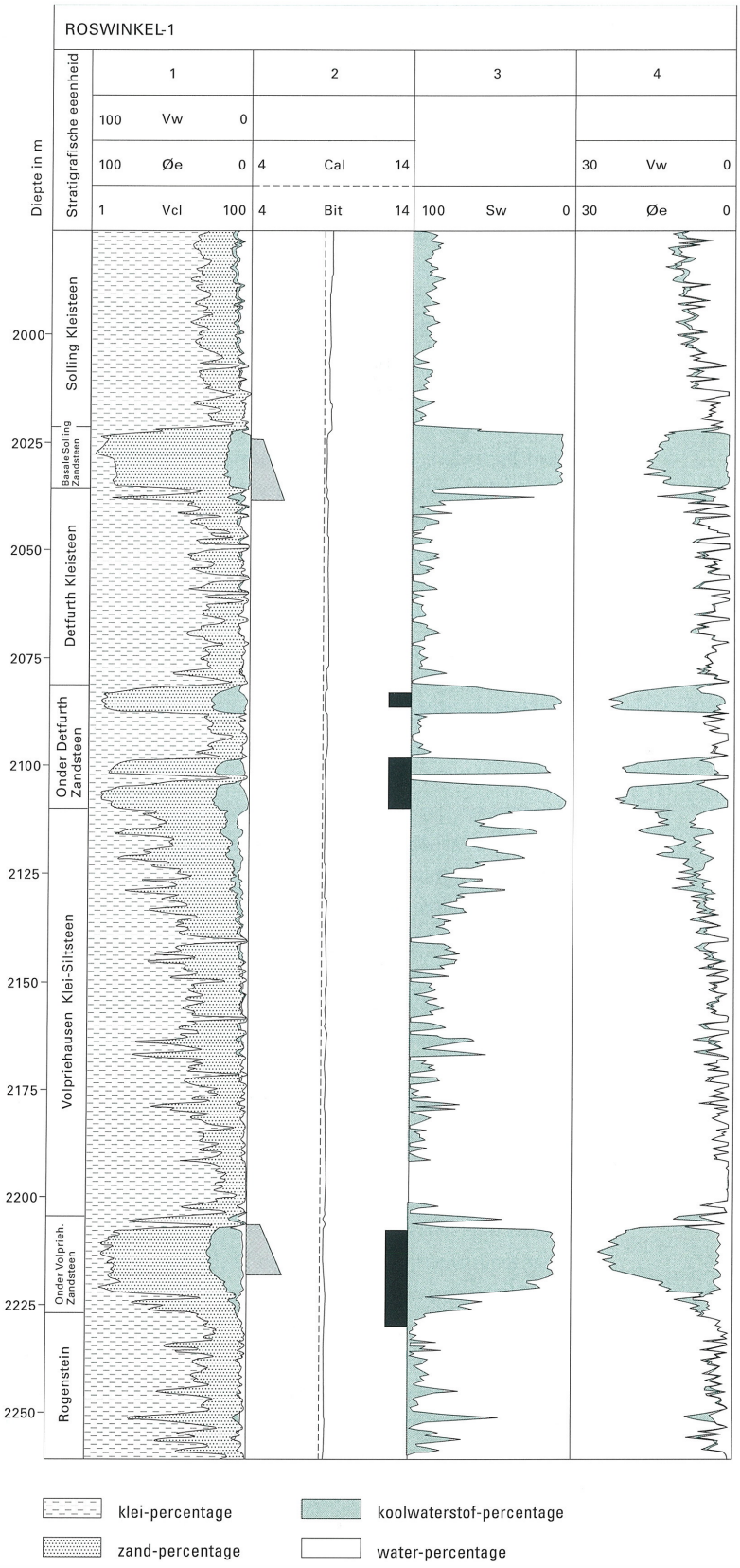
Figuur 8.5 Petrofysische evaluatie van de zandstenen van de Onder- en Boven Germaanse Trias Groep in de boring Roswinkel-1.

Kolom 1: kleigehalte V_{cl}, effectieve porositeit $Ø_e$ en poriënvolume water V_w, 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 *shaly sand model* (density log/neutron log), waarbij de berekende logporositeit werd gecorrigeerd voor de aanwezige klei en de aanwezige koolwater- stoffen.

Kolom 2: boorgatdiameter (Cal) en boorbeitel-diameter (Bit), beide in inches; bovendien zijn de geteste intervallen (appendix J) weergegeven d.m.v. trapezia, en het gekernde interval d.m.v. een zwarte balk.

Kolom 3: de water- saturatie S_w, in procenten. Voor de bepaling van de watersaturatie werd de Indonesische formule gebruikt (Fertl, 1987).

Kolom 4: effectieve porositeit $Ø_e$ (linker curve) en poriën-volume water V_w (rechter curve), beide in procenten. In de linkerkolom zijn de formatiegrenzen aangegeven. Diepten zijn werkelijke diepten.



De Keuper Formatie werd afgezet onder ondiep mariene, marginaal mariene tot evaporitische afzettingscondities. Tijdens de afzetting van deze formatie vonden sterke tektonische bewegingen plaats die een grote invloed hadden op de facies- en dikteverdeling van de formatie. In slenken in het noordoosten en juist ten oosten van het kaartbladgebied werden dikke zoutlagen afgezet, terwijl buiten deze slenken een sterk gecondenseerde opeenvolging van anhydritische kleistenen aanwezig is. Dit laatste kenmerkt het grootste deel van het kaartbladgebied.

8.5 Petrofysische evaluatie

De zandstenen van de Onder-Germaanse Trias Groep vormen in het kaartbladgebied een belangrijk exploratiedoel. Gedurende de laatste 30 jaren zijn er hier en juist buiten dit gebied meerdere gasvelden in de Trias afzettingen aangetoond (fig. 2.2d).

Van vijf boringen uit het kaartbladgebied werden de afzettingen van deze groep petrofysisch geëvalueerd (appendix I). Deze boringen liggen alle in het Eems Diep. In twee boringen zijn de zandstenen van de Onder-Germaanse Trias Groep gasvoerend aangetroffen (appendix J). Als voorbeeld van een logevaluatie van het reservoirtraject van de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep wordt de boring Roswinkel-1 getoond (fig. 8.5).

Van slechts één van de 5 geselecteerde boringen binnen het kaartbladgebied zijn er kernanalyse-data beschikbaar (Roswinkel-1). Aan kernen gemeten gemiddelde porositeiten liggen voor de Onder-Volpriehausen Zandsteen op 22% (9-28%), bij een gemiddelde permeabiliteit van 600 mD (12-1270 mD). Voor de Onder-Detfurth Zandsteen liggen de gemiddelde waarden op 18,7% en 583 mD. De Basale Solling Zandsteen in deze boring was sterk met zout en dolomiet gecementeerd.

De zandstenen van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep en de Basale Solling Zandsteen hebben ongeveer een gelijke porositeit, ze vallen alle ongeveer in het bereik van 10 tot 20%. Toch laten de individuele zandsteenpakketten markante porositeitsverschillen zien. De Basale Solling Zandsteen laat naast aanmerkelijke diktevariaties ook sterke fluctuaties in de gemiddelde porositeit zien, van 9,5 tot 17,4%. De Onder-Volpriehausen Zandsteen varieert eveneens sterk in dikte, van 6-25 m, terwijl de porositeit echter slechts uiteenloopt van 15 tot 21%. De Onder-Detfurth Zandsteen laat naast de meest constante dikte ook de hoogste porositeiten zien, van gemiddeld 15,8 tot 24,2%. Deze hoge waarden komen geheel voor rekening van het onderste zandsteenpakket.

Naast de zandstenen van de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep komen in het gebied nog een aantal andere reservoirgesteenten voor met een beperkte verbreiding. Dit zijn de Rogenstein (Onder-Bontzandsteen Formatie) en de Onder-Muschelkalk. Deze eenheden zijn niet geëvalueerd vanwege het lokale karakter van deze reservoirs. De Rogenstein komt als reservoirgesteente voor in het De Wijk veld; de beste reservoirs treden op in de oölietbanken (max. 30% porositeit en 1 Darcy permeabiliteit) en dunne zandsteenbanken (max. 25% en 10-100 mD) op plaatsen waar deze gesteenten vlak onder de Laat-Kimmerische discordantie zijn gelegen (Gdula, 1983). De gunstige reservoireigenschappen worden aan secondaire uitloging van cement toegeschreven. Ook de Onder-Muschelkalk heeft lokale reservoireigenschappen, eveneens op plaatsen waar deze dicht onder de Laat-Kimmerische discordantie voorkomt. De porositeit van deze eenheid is hoog, maar de permeabiliteit bedraagt maximaal slechts 26 mD (Gdula, 1983). De Onder-Muschelkalk is gasvoerend aangetroffen in het De Wijk en het Coevorden veld.

9 Altena Groep

9.1 Stratigrafie

De Altena Groep bestaat hoofdzakelijk uit donkergekleurde kleistenen die in een marien milieu werden afgezet. De groep wordt onderverdeeld in de Sleen, de Aalburg, de Posidonia Schalie en de Werkendam Formatie. De Altena Groep heeft een ouderdom van jongste Laat-Trias tot Midden-Jura.

Binnen het kaartbladgebied rust de Altena Groep, in het zuidwestelijke deel gescheiden door de Vroeg-Kimmerische discordantie, op de Boven-Germaanse Trias Groep (fig. 8.4d). In het noordelijke en oostelijke deel van het kaartbladgebied ligt de formatie concordant of met een gering hiaat op voornoemde groep. Het voorkomen van de groep beperkt zich tot het Nedersaksisch Bekken (Kaart 8). De groep bereikt de grootste dikte, 1100 m, in het Eems Diep. In een aantal slenken in het Nedersaksisch Bekken bedraagt de dikte ruim 700 m (Kaart 9). De afzettingen worden, gescheiden door de Laat-Kimmerische discordantie, bedekt door de Nedersaksen Groep en de Rijnland Groep (Kaarten 18 & 19). De diepteligging van de basis van de afzettingen varieert van minder dan 1500 m in het zuidwesten tot ruim 2700 m in het Nedersaksisch Bekken. De dieptekaart van de basis van de groep wordt gekenmerkt door een ONO-WZW gericht patroon van syn- en antiformen (Kaart 8).

De opbouw van de groep wordt geïllustreerd aan de hand van de boring Vlagtwedde-2 (fig. 9.1).

9.1.1 Sleen Formatie

De Sleen Formatie komt binnen het gehele verbreidingsgebied van de Altena Groep voor. In het Eems Diep in het aangrenzende deel van Duitsland kan de formatie een dikte bereiken van meer dan 100 m (Baldschuhn et al., 1999). De formatie die gedurende het Rhaetien (Laat-Trias) is afgezet, bestaat uit grijze en bruine, fossielrijke kleisteen met lokaal een of meer zandige trajecten in het middelste deel van de formatie. In de kleisteen bevinden zich tevens pyrietconcreties.

De formatie is goed herkenbaar aan de relatief hoge waarden op de Gamma-Ray log en aan een lage akoestische snelheid (fig. 9.1). De Sleen Formatie rust in het noorden en oosten van het verbreidingsgebied concordant of met een gering hiaat op de Keuper Formatie. In het zuidelijke en westelijke deel van het kaartbladgebied ligt de Sleen Formatie discordant op de Keuper of de Muschelkalk Formatie.

9.1.2 Aalburg Formatie

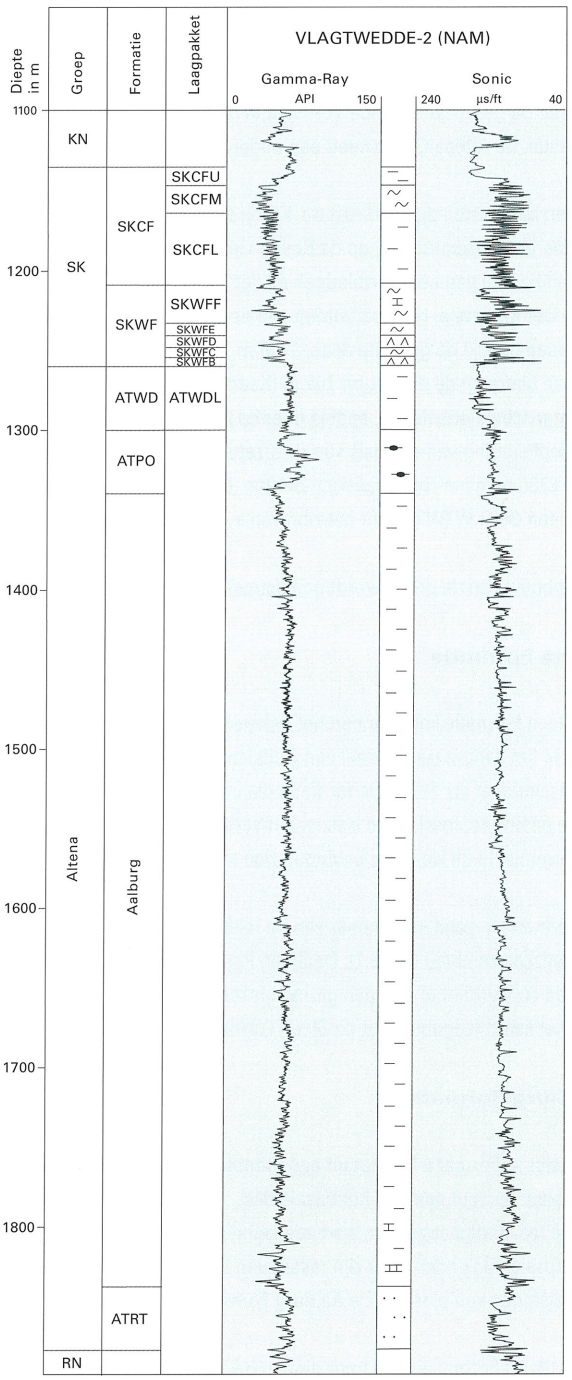
De Aalburg Formatie bestaat uit een monotone opeenvolging van donkergrijze, pyriethoudende kleisteen die, met name in het basale deel, wordt afgewisseld met kalksteenlagen. Soms treden dunne siltige tot zandige lagen op, alsmede lagen die rijk zijn aan organisch materiaal (fig. 9.1). De formatie is zeer fossielrijk: onder meer zijn resten van ammonieten, belemnieten en lamellibranchiaten aangetroffen, alsmede van planten. De Aalburg Formatie werd afgezet tijdens het Hettangien tot Pliensbachien.

De Aalburg Formatie komt voor binnen het gehele verbreidingsgebied van de Altena Groep (Kaart 9; fig. 9.2). De dikte van de formatie bedraagt maximaal 500 m in het noordoosten van het kaartbladgebied waar de Posidonia Schalie Formatie concordant op de Aalburg Formatie rust.

9.1.3 Posidonia Schalie Formatie

De Posidonia Schalie Formatie komt slechts voor in het noordoosten en in het zuiden van het kaartbladgebied. Daarnaast komt de formatie op grote schaal voor in het Nedersaksisch Bekken (fig. 9.2). Zij rust hier concordant op de afzettingen van de Aalburg Formatie. De dikte varieert tussen 20 en 40 m.

Figuur 9.1 Stratigrafische indeling en logkarakteristieken van de Altena Groep in de boring Vlagtwedde-2.



De formatie bestaat uit bitumineuze, donkergrijze kleisteen met pyrietconcreties en plantenresten, voorts zijn ook visresten waargenomen. De formatie, met een Toarcien ouderdom, vormt een belangrijk oliemoedergesteente in deze regio (Binot et al., 1991).

9.1.4 Werkendam Formatie

Binnen het kaartbladgebied is lokaal het basale deel van de formatie gepreserveerd, het *Onder-Werkendam Kleisteen Laagpakket*. Het laagpakket is afgezet gedurende het Aalenien en het Bajocien (Midden-Jura) en heeft een dikte van 20 en 150 m. In het aangrenzende deel van Duitsland heeft de formatie een grote verbreiding in de ondergrond (Meyer, 1969). Discordant op de formatie rust de Nedersaksen Groep.

De Onder-Werkendam Kleisteen is opgebouwd uit overwegend donkergrijze kleisteen die soms bruin of groen getint is. In het meest basale deel van het laagpakket komt nog een enkele bitumineuze laag voor. In de kleisteen treden bruine sferulieten (sideriet), pyrietconcreties, ligniet, visresten en crinoïdenstengels op.



Figuur 9.2 Verbreidingskaart van de verschillende formaties binnen de Altena Groep. De jongere afzettingen van deze groep (Posidonia Schalie en Werkendam Formatie) komen slechts lokaal voor binnen het kaartbladgebied, maar ten oosten hiervan echter op grotere schaal. Gegevens uit het Duitse gebied zijn ontleend aan Binot et al. (1991), Lokhorst (1998) en Meyer (1969).

9.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

De Altena Groep werd afgezet na een markante transgressie tijdens de jongste Trias. Hierna ontstond een open-marien afzettingsmilieu in grote delen van Noordwest-Europa. De kleien en silten van de Sleen Formatie weerspiegelen brakwater, marginaal-mariene tot ondiep mariene omstandigheden. Hierna verdiepte het bekken zich en werd een dik pakket klei van de Aalburg Formatie afgezet onder diep-mariene omstandigheden. Uit het monotone, fijnkorrelige karakter van de eenheid blijkt dat in de nabijheid van het kaartbladgebied alle hogen door de zee waren overspoeld. De organisch-rijke laagjes wijzen op stagnatie van de circulatie in het bekken. De grootste daling trad ten oosten van het kaartbladgebied op. Een belangrijke periode van euxinische sedimentatie wordt gemarkeerd door de Posidonia Schalie Formatie. Deze omstandigheden ontstonden vermoedelijk door het samenkomen in het huidige West-Europa van warm, zout water uit de Tethys en koud, Arctisch water. Dit leidde tot een gelaagdheid in het zeewater, waarbij de in de diepste laag anoxische omstandigheden gingen heersen. Al het organisch materiaal werd gepreserveerd in de bitumineuze afzettingen (Ziegler, 1990). De open-mariene omstandigheden werden hersteld tijdens de afzetting van de Werkendam Formatie die ten gevolge van tektonische bewegingen en de hieraan gerelateerde erosie nog slechts zeer lokaal aanwezig is.

10 Nedersaksen Groep

10.1 Stratigrafie

De Nedersaksen Groep is opgebouwd uit mergel, kleisteen, evaporieten en kalksteen. De groep wordt onderverdeeld in de Coevorden en de Weiteveen Formatie. De groep heeft een Laat-Jura en vroegste Krijt ouderdom (Midden-Kimmeridgien tot Ryazanien, mogelijk vroegste Valanginien).

De verbreiding van de Nedersaksen Groep beperkt zich hoofdzakelijk tot het Nedersaksisch Bekken. De diepteligging van de basis varieert van ruim 1000 m in het zuidoosten 2300 m in het midden van het gebied (Kaart 10). De grootste dikte, ruim 650 m, wordt bereikt in het meest zuid- oostelijke deel van het kaartbladgebied (Kaart 11). De groep ontbreekt primair op het Emmen-Fehndorf Hoog dat een eiland vormde in het Nedersaksisch Bekken. In het Nedersaksisch Bekken werd tijdens de afzetting van de Nedersaksen Groep door tektonische oorzaken een systeem van O-W georiënteerde troggen en hogen aangelegd die de afzetting van deze groep en de bovenliggende Rijnland Groep sterk zouden bepalen (Kaarten 10-14). De opbouw van de groep wordt geïllustreerd aan de hand van de boring Vlagtwedde-2 (fig. 9.1).

De Nedersaksen Groep ligt met een discordant contact op de Altena Groep, of lokaal op de Boven-



Fig. 10.1 Verbreidingskaart van de Nedersaksen Groep. Het kaartbladgebied ligt aan de westrand van het Nedersaksisch Bekken waar zich een zoutbekken bevond. Gegevens van het aangrenzende Duitse deel zijn ontleend aan Baldschuhn et al. (1991, 1999) en Schott (1950).

Germaanse Trias Groep (Kaart 18). Vrijwel overal wordt de groep discordant bedekt door de Rijnland Groep. In incidentele gevallen, gerelateerd aan breuk- en zouttektoniek, kan dit ook de Krijtkalk Groep zijn (bij de zoutpijler Hoogeveen, zie fig. 14.10).

In het gebied ten noorden van het Nedersaksisch Bekken komen op het Groningen Hoog lokaal afzettingen van de Schieland Groep voor. Deze afzettingen onderscheiden zich door het zandige karakter en het voorkomen van koollagen van de Nedersaksen Groep. Voor een beschrijving van deze afzettingen wordt naar het noordelijker gelegen kaartblad verwezen (Rijks Geologische Dienst, 1995).

Aan de zuidrand van het Nedersaksisch Bekken werd de groep in een drietal boringen aangetroffen waar zij niet seismisch gekarteerd kon worden (Kaart 10). Naar verwachting zal dit zich nog op meerdere plaatsen voor kunnen doen. Vermoedelijk gaat het hierbij om kleine geïsoleerde voorkomens en niet om een groot aaneengesloten gebied.

10.1.1 Weiteveen Formatie

Deze formatie komt voor in het Nedersaksisch Bekken. De grootste dikte, meer dan 350 m, wordt in het uiterste zuidoosten bereikt. In het aangrenzende deel van Duitsland kan de formatie een dikte bereiken van ruim 2000 m in de Georgsdorf Trog (Bischoff & Wolburg, 1963; Meyer, 1969). In het grootste deel van het verbreidingsgebied bedraagt de dikte minder dan 200 meter. Boven zoutstructuren is de dikte sterk gereduceerd of is de formatie geheel afwezig (Kaart 11).

De Weiteveen Formatie werd afgezet gedurende het Midden-Kimmeridgien tot het Laat-Portlandien of mogelijk zelfs tot het vroegste deel van het Ryazanien. In de meeste gevallen rust de Weiteveen Formatie met een discordant contact op de Aalburg Formatie, lokaal ook op de Posidonia Schalie of de Werkendam Formatie. Dit doet zich voor in het noordoosten nabij de Nederlands-Duitse grens en ten oosten van het kaartbladgebied in Duitsland. In het zuidwesten rust de Weiteveen Formatie lokaal op de Muschelkalk of Keuper Formatie (Kaart 18).

Binnen de Weiteveen Formatie worden het Basale Weiteveen Clastica, het Onder-Weiteveen Evaporiet, het Onder-Weiteveen Mergel, het Boven-Weiteveen Evaporiet, het Boven-Weiteveen Mergel en het Serpuliet Laagpakket onderscheiden. De lithologische opbouw van de formatie varieert lateraal sterk. In het zuidoosten zijn evaporieten ingeschakeld die in noordwestelijke en westelijke richting verdwijnen en plaatsmaken voor kalksteeninschakelingen. De formatie kan hier soms niet eenduidig worden onderscheiden van kalkige afzettingen uit de Trias (Dolomitische Keuper Laagpakket) of de Aalburg Formatie. In de Weiteveen Formatie worden zes laagpakketten onderscheiden; deze onderverdeling sluit goed aan bij de door Bischoff & Wolburg (1963) en Gramann et al. (1997) gehanteerde onderverdeling van de Malm-sedimenten in het aangrenzende deel van Duitsland.

Het *Weiteveen Basale Clastica* bestaat uit bontgekleurd conglomeraat, zandsteen en kleisteen. De conglomeraten hebben een sterk gevarieerde samenstelling die op een lokale herkomst duidt. In dit laagpakket zijn veel plant- en houtresten aangetroffen. Dit laagpakket komt slechts ten zuiden van het Emmen-Fehndorf Hoog voor. De dikte bedraagt hier 5 tot 20 m (Ruinen-1, Schoonebeek-197).

Ten noorden van het Emmen-Fehndorf Hoog ligt de *Weiteveen Onder-Evaporiet* aan de basis van de formatie (fig. 9.1). Dit laagpakket bestaat uit een afwisseling van dolomitische of anhydritische kleisteen, anhydriet, haliet en kalksteen. Het bovenste deel van de eenheid is veelal kleiiger ontwikkeld dan het basale deel. De dikte van de eenheid loopt op van 25 tot 100 m in het zuidoosten van Drenthe. In noordoostelijke richting gaand neemt de dikte af tot 5-10 m.

In het meest zuidoostelijke deel van Drenthe overheersen de evaporitische afzettingen in dit laagpakket. In noordelijke en westelijke richting neemt het aandeel van de evaporieten af ten gunste van de kalken. Haliet afzettingen zijn in boringen alleen in het uiterste zuidoosten aangetroffen en in het aangrenzende deel van Duitsland (Schott, 1950). Boven zoutopwelvingen neemt het anhydriet-aandeel af. Het laagpakket gaat in noordelijke en westelijke richting lateraal in het Hoofd-Weiteveen Laagpakket over.

De *Weiteveen Onder-Mergel* bestaat uit blauwgrijze mergel die soms anhydritisch is. Dit laagpakket komt slechts in het zuidoostelijke deel van het kaartbladgebied voor. Lateraal in noordelijke en westelijke richting gaat de mergel over in het Hoofd-Weiteveen Laagpakket. De dikte varieert tussen 20 en 40 m. Boven zoutopwelvingen kan de eenheid geheel afwezig zijn.

De *Weiteveen Boven-Evaporiet* komt slechts voor in het zuidoostelijke deel van het kaartbladgebied, ten zuiden van de Emmen zoutrug. Het pakket bestaat uit een afwisseling van anhydriet, kalksteen, kleisteen en mergel. In het zuiden langs de grens met Duitsland is ook haliet ingeschakeld (fig. 10.1). In noordelijke en westelijke richting verdwijnt de anhydriet en gaat dit laagpakket over in het Hoofd-Weiteveen Laagpakket. De dikte bedraagt doorgaans meer dan 20 m en neemt toe tot ruim 70 m in het uiterste zuidoosten van het kaartbladgebied.

De bovenste evaporitische eenheid wordt bedekt door de *Weiteveen Boven-Mergel* die bestaat uit mergel en kleisteen met een enkele kalk- of anhydrietbank. De dikte varieert tussen 10 en 40 m.

De gehele evaporiet-mergel successie gaat lateraal in noordwestelijke richting over in het *Hoofd-Weiteveen Laagpakket.* Deze eenheid bestaat uit een afwisseling van mergel, kleisteen en kalk en ondergeschikt anhydrietinschakelingen. Dit pakket neemt in zuidelijke richting toe van 10 tot 90 m. In het zuidoosten gaat het laagpakket over in de hierboven beschreven evaporiet-mergel opeenvolging.

Op het Weiteveen Boven-Mergel of op het Hoofd-Weiteveen Laagpakket rust het *Serpuliet Laagpakket.* Deze opeenvolging bestaat uit een afwisseling van blauwgrijze mergels, kleisteen en kalksteen. Anhydrietlagen en -knollen komen veelvuldig voor in het zuidoostelijke deel van het kaartbladgebied. De kalkstenen zijn opgebouwd uit kleine fragmenten van pelecypoden en van serpuliden (kokerwormen) en ostracoden. De maximale dikte van het laagpakket, 50 tot 100 m, wordt in het zuidoosten van het kaartbladgebied bereikt. Elders bedraagt de dikte 10 tot 40 m. Boven zoutopwelvingen is het laagpakket sterk gecondenseerd of zelfs geheel afwezig. Aan de rand van het bekken waar zowel de Weiteveen als de Coevorden Formatie kalkig ontwikkeld zijn, kan de Serpuliet niet altijd duidelijk worden herkend.

10.1.2 Coevorden Formatie

De verbreiding van de Coevorden Formatie komt nagenoeg overeen met die van de onderliggende Weiteveen Formatie. De grens tussen beide formaties is concordant en zonder aanwijsbaar hiaat. De grootste dikte van de formatie bedraagt bijna 300 m in het zuidoosten van het kaartbladgebied. Buiten het kaartblad neemt de dikte verder toe tot ruim 700 m in de Schoonebeek-Meppen Trog (Schott et al., 1967a,b; Meyer, 1969). Binnen het overgrote deel van het verbreidingsgebied echter bedraagt de dikte 50 tot 100 meter. Boven zoutopwelvingen is de dikte sterk gereduceerd of is de formatie zelfs geheel afwezig. De formatie werd afgezet gedurende het Ryazanien tot mogelijk het vroegste Valanginien.

In de Coevorden Formatie worden drie laagpakketten onderscheiden, het Onder-Coevorden, Midden-Coevorden en Boven-Coevorden Laagpakket.

De *Onder-Coevorden* bestaat overwegend uit een afwisseling van grijze kleisteen en mergel met een

enkele kalksteenbank in het basale deel. Naar de rand van het bekken neemt het aantal kalkinschakelingen toe, zodat het onderscheid met de onder- en bovenliggende pakketten minder duidelijk wordt. De grootste dikte, ruim 50 m, wordt bereikt in het zuidoosten van het kaartbladgebied en juist ten noorden van het Emmen-Fehndorf Hoog. Ten gevolge van zouttektoniek treden lokale diktevariaties op; boven een aantal zoutstructuren ontbreekt dit laagpakket.

De *Midden-Coevorden* bestaat uit een fossielrijke afwisseling van grijze mergel, kalksteen en kleisteen. Aan de rand van het bekken is het laagpakket siltig tot zandig ontwikkeld. De dikte bedraagt maximaal 50 tot 85 m in het zuidoosten van het kaartbladgebied; elders ligt de dikte tussen 10 en 35 m.

In enkele van elkaar geïsoleerde gebieden in het zuiden en het oosten van het kaartbladgebied ligt de *Boven-Coevorden* concordant op de Midden-Coevorden. De eenheid is opgebouwd uit bruingrijze kleisteen en mergel die soms siltig tot zandig ontwikkeld zijn. De kleisteen is in sommige intervallen gelamineerd en sterk bitumineus (in Duitsland bekend als *Papierschiefer*). Deze afzettingen vormen een belangrijk oliemoedergesteente, waaruit de olie van onder meer het Schoonebeek veld is gevormd (Binot et al., 1991). De dikte varieert tussen 10 en 25 m, behalve in het uiterste zuidoosten waar diktes van 50 tot 100 m bereikt worden.

10.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

De Nedersaksen Groep werd afgezet in het Nedersaksisch Bekken. Daar dit bekken geen continue verbinding had met de zee, leidde dit tot de afzetting van sedimenten in een zoet- en brakwater tot hypersalien milieu. Tijdens afzetting van de groep kwam het Nedersaksisch Bekken steeds minder geïsoleerd te liggen ten opzichte van de zee, hetgeen blijkt uit het feit dat evaporitische omstandigheden van de Weiteveen Formatie plaats maakten voor lacustriene en soms marginaal mariene omstandigheden van de Coevorden Formatie (Wolburg, 1949; Herngreen et al., 1980).

De afzetting van de Weiteveen Formatie in het kaartbladgebied weerspiegelt de uitbreiding van het sedimentatiegebied naar het westen. Deze formatie werd onder aride klimaatsomstandigheden afgezet (Herngreen et al., 1980). De oudste sedimenten, de Basale Weiteveen Clastica, werden slechts in het aangrenzende deel van Duitsland en ten zuiden van het Emmen-Fehndorf Hoog afgezet. De afzettingen bestaan uit fijnkorrelige lacustriene sedimenten, met lokale inschakelingen van fluviatiele zand en grindafzettingen. Hierna gingen afwisselend hypersaliene en lacustriene omstandigheden overheersen en werden fijnklastische afzettingen en evaporieten afgezet. Tijdens deze afzetting breidde het sedimentatiegebied zich verder in westelijke richting uit. Uit het fijnkorrelige en evaporitische karakter van de sedimenten valt wel af te leiden dat de hogen ten westen van het Nedersaksisch Bekken geen of slechts weinig sediment hebben geleverd en vermoedelijk rondom de waterspiegel hebben gelegen.

De afzetting van de Coevorden Formatie vond plaats aan de westrand van een zoet- tot brakwater bekken. De grens tussen de Coevorden en de Weiteveen Formatie lijkt een belangrijke klimaatsomslag te weerspiegelen naar een vochtiger klimaat (Herngreen et al., 1980). Tijdens afzetting van met name de Midden- en de Boven-Coevorden traden enkele mariene incursies op vanuit noordelijke richting (Centrale Noordzee Slenk, Vlieland Bekken). Deze verbinding was vermoedelijk gerelateerd aan de Hantum Breukzone. De sedimenten van de formatie bestaan overwegend uit fijnklastische afzettingen, uit suspensie gesedimenteerd, terwijl de carbonaten worden beschouwd als stormlagen of hardgrounds. De dunne laagjes, rijk aan organisch materiaal weerspiegelen euxinische periodes in het bekken (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993-1997).

11 Rijnland Groep

11.1 Stratigrafie

De Rijnland Groep bestaat hoofdzakelijk uit mariene zandstenen, kleistenen en mergels. De groep wordt onderverdeeld in de Vlieland Zandsteen, de Vlieland Kleisteen en de Holland Formatie. De Rijnland Groep werd afgezet gedurende het Valanginien tot en met het Albien. De Vlieland Zandsteen Formatie en de Vlieland Kleisteen Formatie vormen samen de informele Vlieland subgroep (fig. 11.1).

In het oostelijke en centrale deel van het kaartbladgebied rust de Rijnland Groep concordant op de Nedersaksen of de Altena Groep (Kaart 19; RGD, 1994e). Aan de rand van het Nedersaksisch Bekken treedt er een hiaat op tussen de Nedersaksen Groep en de Rijnland Groep dat het gehele Valangien en Hauterivien kan omvatten. Buiten het bekken en lokaal boven zoutopwelvingen ligt de Rijnland Groep discordant op de Limburg, de Zechstein, de Onder- of de Boven-Germaanse Trias of de Altena Groep (Kaart 19). De basis van de Rijnland Groep, de Laat-Kimmerische II discordantie, is sterk diachroon. De ouderdom van de basis van de Rijnland Groep varieert hierdoor van Valanginien in het centrum van het Nedersaksisch Bekken tot Albien op het Friesland Platform. De groep wordt bedekt door de Krijtkalk Groep.

Afzettingen van de Rijnland Groep worden binnen het gehele kaartbladgebied aangetroffen, uitgezonderd boven enkele zoutstructuren (Kaart 12 & 13). De diepteligging varieert van enkele honderden meters boven zoutstructuren tot ruim 2000 m op het Friesland Platform in het zuiden van het gebied en in de omgeving van Assen (Kaart 12). In het kaartbladgebied varieert de dikte van minder dan 200 m op het Friesland Platform en het Groningen Hoog tot lokaal 600 m in het Nedersaksisch Bekken. Verder bekkenwaarts in zuidoostelijke richting neemt de dikte toe tot bijna 2000 m (Meyer, 1969; Schott et al. 1967a,b).

De opbouw van de Rijnland Groep wordt geïllustreerd aan de hand van een aantal profielen (fig. 11.2 & 11.3).

11.1.1 Vlieland subgroep

De Vlieland subgroep komt in het gehele gebied voor, met uitzondering van het Emmen-Fehndorf Hoog, het zuidwesten van het kaartbladgebied en boven zoutstructuren (fig. 11.4a). In het Nedersaksisch Bekken ligt de subgroep concordant op de Nedersaksen of discordant op de Altena Groep. Buiten dit bekken rust de subgroep discordant op afzettingen van de Altena, de Onder- of Boven-Germaanse Trias, de Zechstein of de Limburg Groep (Kaart 19).

De subgroep omvat de Vlieland Zandsteen en de Vlieland Kleisteen Formatie; deze formaties zijn elkaars laterale equivalenten. In de subgroep komen meerdere hiaten (fig. 11.1) voor die met name nabij de voormalige bekkenrand en het Emmen-Fehndorf Hoog geprononceerd zijn. Gebaseerd op biostratigrafisch onderzoek concentreren de hiaten zich op de overgang van het Hauterivien naar het Barremien; voorts zijn er sterke aanwijzingen voor een hiaat op de overgang van het Valanginien naar het Hauterivien (RGD, 1990, 1994a,b,c,d). Gezien het feit dat de diktes lokaal zeer gering zijn, is vermoedelijk dat een gecondenseerde opeenvolging aanwezig.

11.1.1.1 Vlieland Zandsteen Formatie

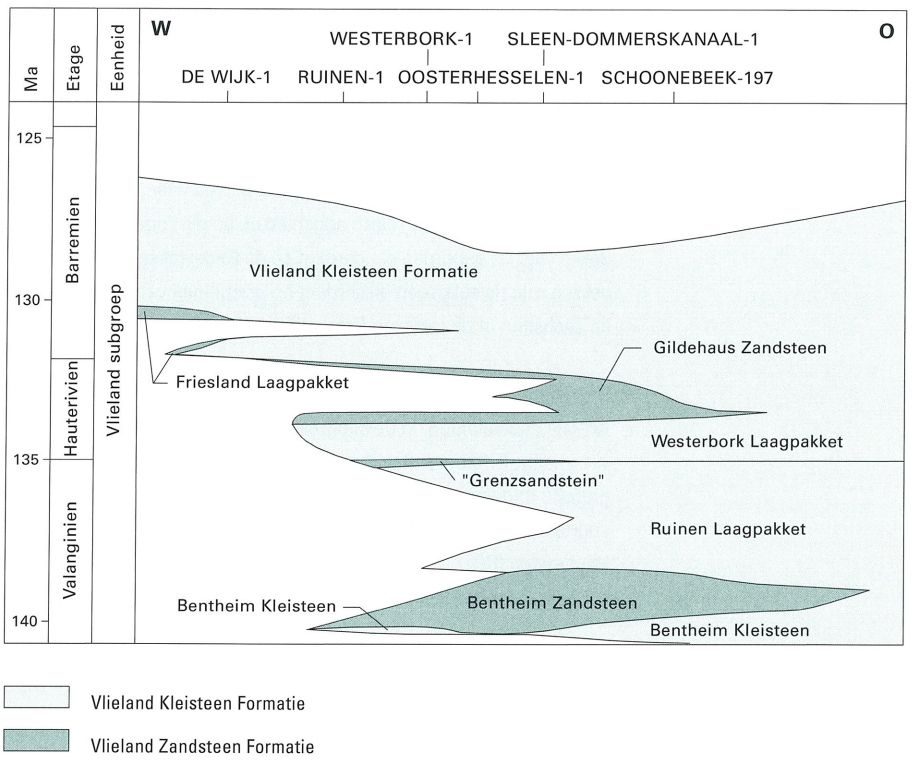
De Vlieland Zandsteen Formatie is in het zuiden van het kaartbladgebied vertegenwoordigd door twee zandsteenpakketten, het Bentheim en het Gildehaus Zandsteen Laagpakket (fig. 11.1). Deze eenheden worden door kleistenen van de Vlieland Kleisteen Formatie van elkaar gescheiden. In het zuiden en

westen van het kaartbladgebied komt slechts een zandsteenpakket voor dat als het Friesland Laagpakket bekend staat. Dit pakket is jonger dan de Bentheim en de Gildehaus Zandsteen.

De *Bentheim Zandsteen* komt in het oostelijke deel van het kaartbladgebied voor (fig. 11.4b). De zandsteen ontbreekt op het Emmen-Fehndorf Hoog. Het laagpakket ligt met een scherp contact op de Bentheim Kleisteen of met een hiaat op de Coevorden Formatie. Het laagpakket is opgebouwd uit grijze zandsteen met lamellibranchiaten en plantenresten. Soms is de zandsteen bont gekleurd door de aanwezigheid van roodbruine gesteentefragmenten. De korrelgrootte varieert van fijn tot middengrof zand. Enkele klei-inschakelingen zijn aanwezig, alsmede sideriet gecementeerde horizons. De zandsteen bevat glauconiet, pyriet en sideriet. De grootste diktes van de eenheid treden op in het zuidoosten van het gebied waar de eenheid een dikte van ruim 60 m bereikt (fig. 11.4b). De zandsteen werd afgezet in het Vroeg-Valanginien.

In het Schoonebeek veld worden drie zandsteenpakketten onderkend die door dunne kleisteenlagen van elkaar worden gescheiden. In dit veld neemt de dikte van de zandsteen in oostelijke richting toe van circa 10 tot ruim 50 m. Dit vindt zijn oorzaak in het feit dat in het westelijke deel van het veld alleen het onderste pakket gepreserveerd is onder de Holland Formatie, terwijl in oostelijke richting ook de middelste en bovenste zandsteenpakketten bewaard zijn (fig. 11.5).

De *Gildehaus Zandsteen* ligt concordant of met een hiaat op het Westerbork Laagpakket. Op het Emmen-Fehndorf Hoog rust de zandsteen lokaal discordant op de Coevorden Formatie. De zandsteen bestaat uit grove tot fijne zandsteen, soms met een grindfractie. Een enkele keer is het kalkgehalte zo-



Figuur 11.1 Lithochronostratigrafisch overzicht van de Rijnland Groep in het Nedersaksisch Bekken

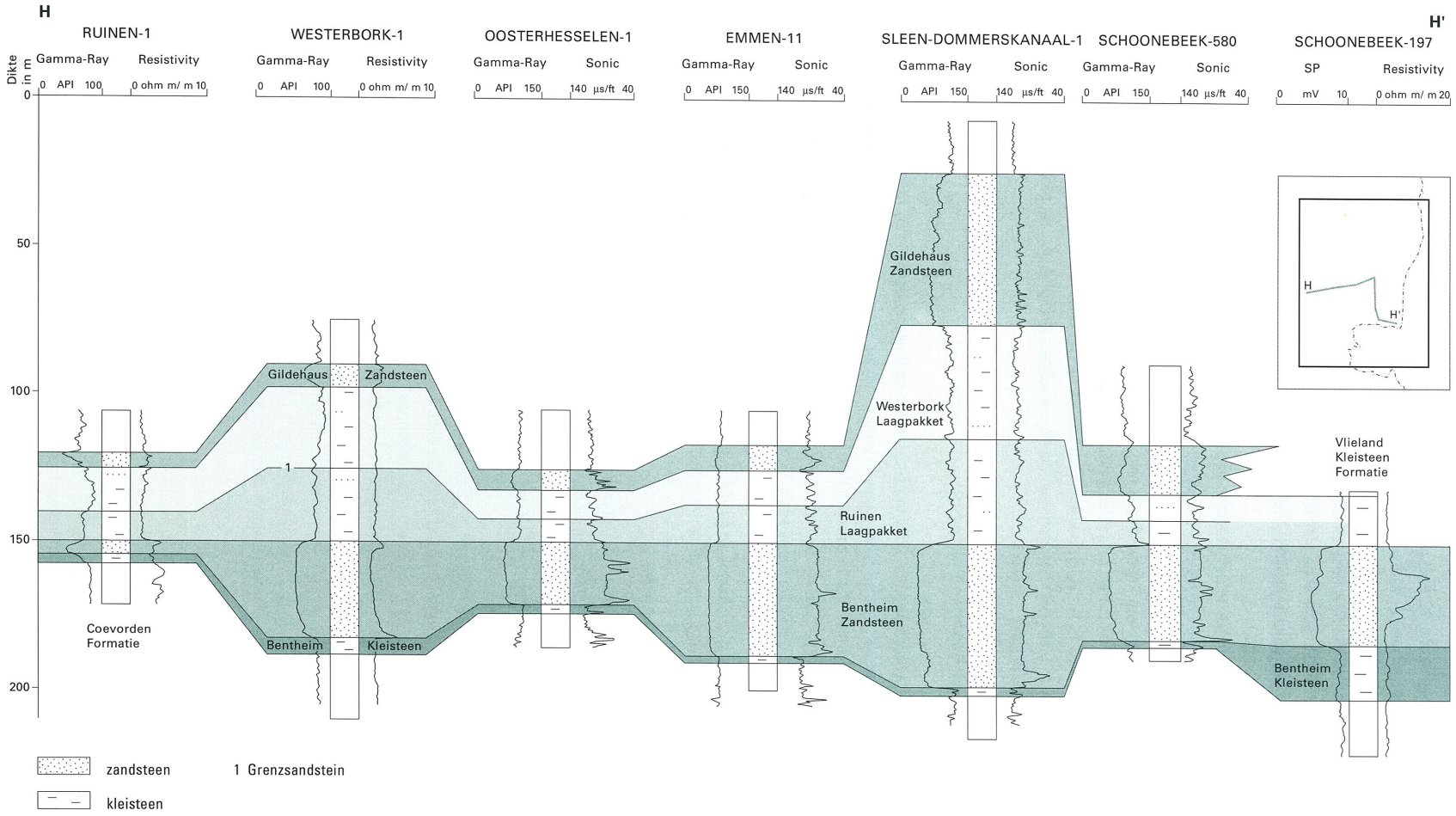


Fig. 11.2 Stratigrafisch profiel H-H' van de Rijnland Groep tussen de boringen Ruinen-1, Westerbork-1, Oosterhesselen-1, Emmen-11, Sleen-Dommerskanaal-1, Schoonebeek-580 en Schoonebeek-197. Dit profiel toont aanmerkelijke dikteverschillen ten gevolge van synsedimentaire breukbewegingen. Het referentie-niveau is de top van de Bentheim Zandsteen.

danig toegenomen dat er sprake is van een kalkzandsteen. In de zandsteen zijn kleischilfers en kool-fragmenten aanwezig. Verder komen glauconiet en ijzeroölieten voor. De zandsteen komt slechts voor in het zuiden van het kaartbladgebied, met een dikte van 4 tot 50 m (fig. 11.4c). Ten zuiden van het kaart-bladgebied bereikt de zandsteen een dikte van ruim 200 m (Meyer, 1969). In oostelijke richting neemt de zandsteen snel in dikte af en gaat lateraal over in de Vlieland Kleisteen Formatie. Het laagpakket werd afgezet in het Hauterivien (RGD, 1994a,c).

In het zuidwesten en uiterste noorden van het kaartbladgebied, alsmede in het ten westen gelegen kaartblad komt het *Friesland Laagpakket* voor. Dit laagpakket bestaat uit fijne tot grove zandsteen en conglomeraat. De dikte van dit laagpakket bedraagt ruim 20 m. De ouderdom van deze eenheid vertoont een grote variatie, van Hauterivien in het noordelijke deel en het zuidwesten (RGD, 1995a,b,c) tot Midden-Barremien in het ten westen gelegen Kaartblad V (Rijks Geologische Dienst, 1993a). Het lijkt hierdoor aannemelijk dat het Friesland Laagpakket niet uit een enkele zandsteen bestaat, maar uit een complex van zandsteeninschakelingen die de westelijke uitbreiding van het sedimentatiegebied begeleiden (Rijkers & Geluk, 1996).

11.1.1.2 Vlieland Kleisteen Formatie

Binnen het gebied waar de Vlieland Zandsteen en de Vlieland Kleisteen Formatie vertanden, worden van oud naar jong het Bentheim Kleisteen, het Ruinen en het Westerbork Laagpakket onderscheiden (fig. 11.1). Waar slechts een basale zandsteen of geen zandsteen in de subgroep aanwezig is, wordt de Vlieland Kleisteen Formatie niet in laagpakketten onderverdeeld of wordt de informele aanduiding Schoonebeek laagpakket gebruikt. De formatie bereikt in het zuidoosten de grootste dikte, ruim 200 m. In het centrum van het Nedersaksisch Bekken bereikt de formatie een dikte van ruim 1200 m (Meyer, 1969; Schott et al., 1967a,b). De formatie rust concordant of met een hiaat op de Vlieland Zandsteen Formatie, of discordant op oudere eenheden. De formatie wordt discordant bedekt door de Holland Formatie. De ouderdom van de formatie is Valanginien tot Barremien.

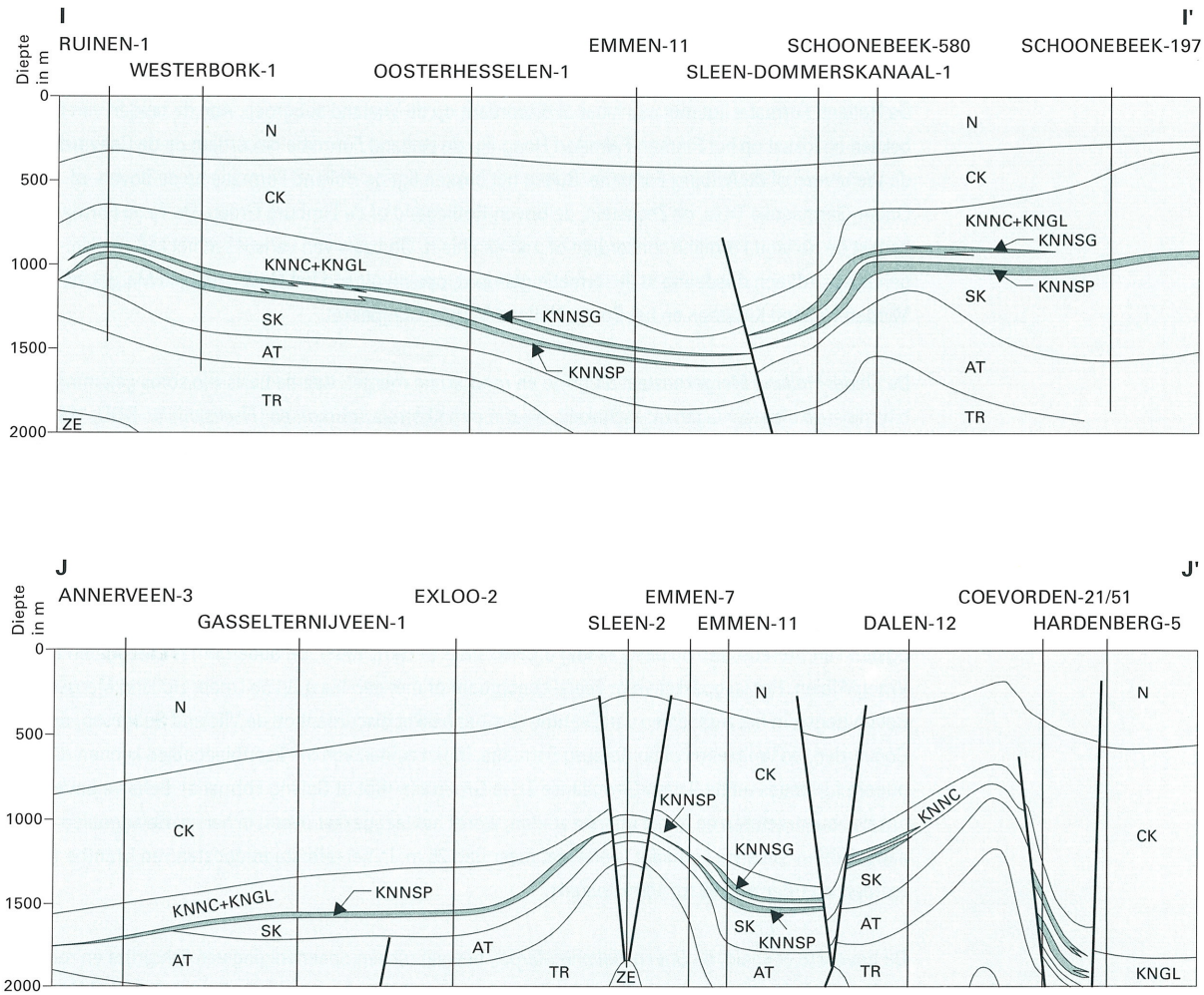
De *Bentheim Kleisteen* bestaat uit mergelige, siltige tot zandige kleisteen met een grijze kleur. Dit afzet-tingsgesteente bevat enkele ammoniet- en schelpfragmenten, organische resten en pyriet. De dikte bedraagt doorgaans niet meer dan enkele meters, lokaal echter wordt 10 tot 20 m bereikt. De eenheid werd afgezet tijdens het Vroeg-Valanginien.

Het *Ruinen Laagpakket* bestaat uit donkergrijze, fossielhoudende, kalkhoudende kleisteen. Het laag-pakket ligt op de Bentheim Zandsteen. De dikte van de eenheid bedraagt 10-20 m. Het laagpakket bevat voorts sideriethorizons. Een dunne zandsteen, de *Grenzsandstein*, scheidt het Ruinen van het boven-liggende Westerbork Laagpakket (figs. 11.1, 11.2). De ouderdom is Laat-Valanginien.

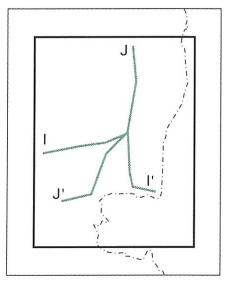
Het *Westerbork Laagpakket* is opgebouwd uit donkergrijze, silt- tot grindhoudende kleisteen en mergel, waarin verspreid ijzeroölieten aanwezig zijn. In het sediment komen vis- en koolresten en lamellibran-chiaten voor. De ouderdom is waarschijnlijk Vroeg-Hauterivien. De dikte van het laagpakket varieert tussen 5 en 70 m.

11.1.2 Holland Formatie

De Holland Formatie bestaat hoofdzakelijk uit grijze en roodbruine mergel en kleisteen die gedurende het jongste deel van het Vroeg-Krijt (Aptien tot Vroeg-Cenomanien; Frieg & Kemper, 1989) werden afgezet. Een aantal intraformationele hiaten zijn in deze eenheid aanwezig. De formatie bereikt de grootste dikte, ruim 200 m, in het zuidoosten van het kaartbladgebied (fig. 11.4d). In noordwestelijke



N	Noordzee Supergroep
CK	Krijtkalk Groep
KNGL	Holland Formatie
KNNC	Vlieland Kleisteen Formatie
KNNSG	Gildehaus Zandsteen
KNNSP	Bentheim Zandsteen
SK	Nedersaksen Groep
AT	Altena Groep
TR	Boven- en Onder-Germaanse Trias Groep
ZE	Zechstein Groep



Figuur 11.3 Geologisch profiel I-I' en J-J' met de distributie van de Vlieland Zandsteen Formatie in het Nedersaksisch Bekken. Zandstenen zijn dikker aangetroffen tussen de zoutstructuren en zijn dunner of niet afgezet direct boven de zoutstructuren (Sleen-2 in profiel J-J').

richting neemt de dikte af tot minder dan 50 m. In de richting van het centrum van het Nedersaksisch Bekken neemt de dikte toe tot ruim 500 m ('t Hart, 1969; Meyer, 1969).

De Holland Formatie ligt met een hiaat of discordant op de Vlieland subgroep. Aan de randen van het bekken en lokaal op het Emmen-Fehndorf Hoog ligt de Holland Formatie discordant op de Coevorden, de Weiteveen of de Aalburg Formatie. Buiten het bekken ligt de Holland Formatie op de Boven- of Onder-Germaanse Trias, de Zechstein, de Boven-Rotliegend of de Limburg Groep. De Texel Formatie bedekt de Holland Formatie concordant of met een hiaat. Op basis van variaties in het kalk- en kleigehalte wordt een driedeling in de formatie gemaakt, opeenvolgend het Onder-Holland Mergel, het Midden-Holland Kleisteen en het Boven-Holland Mergel Laagpakket.

De *Onder-Holland Mergel* bestaat uit grijze en roodbruine mergel. Aan de basis zijn soms gelamineerde, bitumineuze kleisteenlagen ingeschakeld, waarin pyrietkorrels voorkomen (*Fischschiefer*: RGD, 1994c). Deze eenheid is gevormd in het Vroeg-Aptien en het vroegste deel van het Laat-Aptien. De Onder-Holland Mergel ligt met een hiaat of discordant op de afzettingen van de Vlieland subgroep. De dikte van het laagpakket varieert tussen de 10 en 30 m, waarbij de grootste diktes gerelateerd lijken te zijn aan zoutstructuren. De dikte van de eenheid neemt in noordwestelijke richting af.

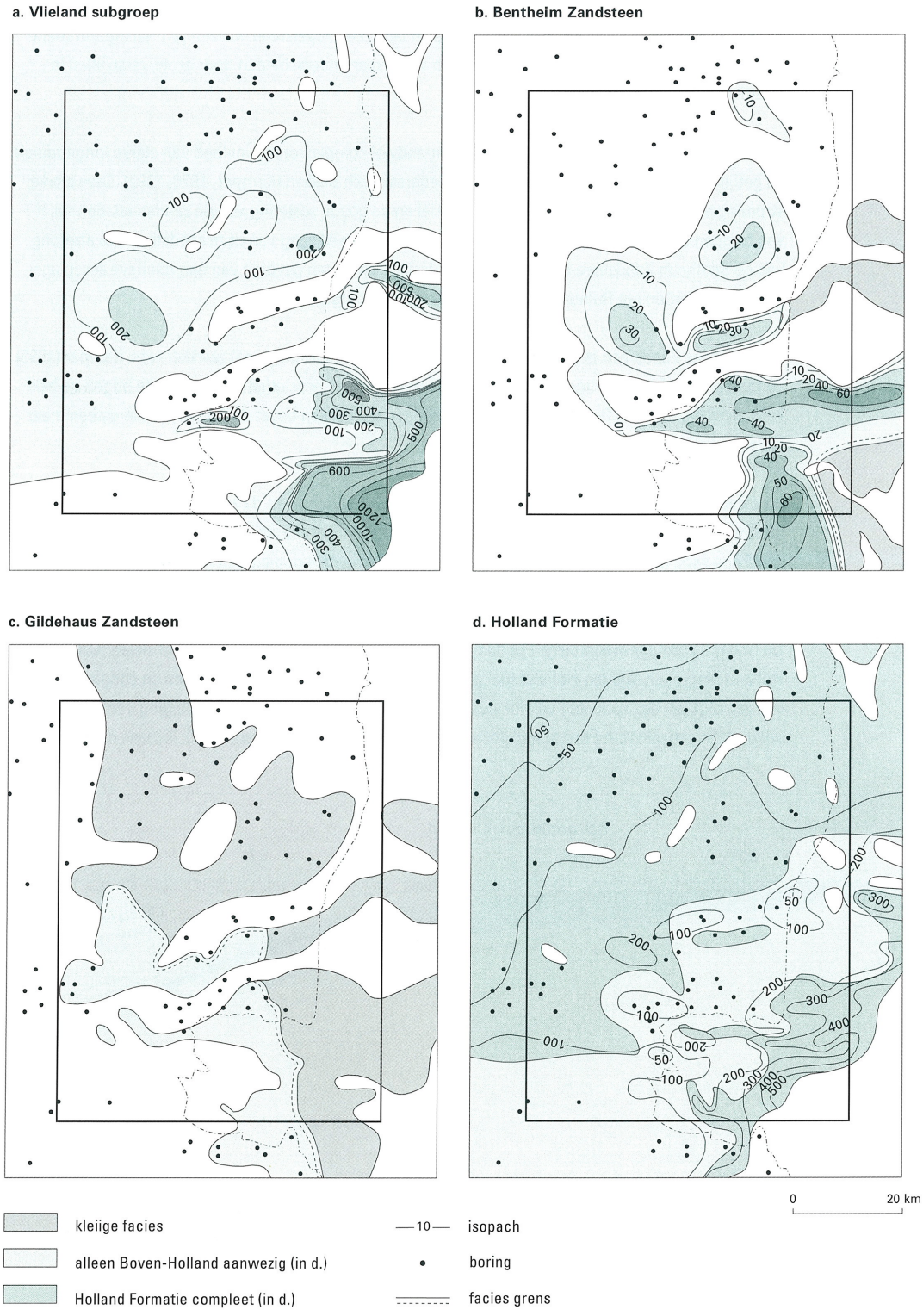
De *Midden-Holland Kleisteen* is opgebouwd uit grijze en roodbruine kalkige kleisteen, die, in het zuidoosten van Drenthe, aan de basis zandig ontwikkeld is ('t Hart, 1969). De ouderdom is Laat-Aptien tot Vroeg-Albien. Het laagpakket volgt veelal concordant of met een hiaat op de Onder-Holland Mergel. Boven hogen in het zuidoosten van Drenthe rust het pakket discordant op de Vlieland Subgroep, de Coevorden, de Weiteveen of de Aalburg Formatie. In het zuiden van het kaartbladgebied kunnen dit nog oudere formaties uit de Boven-Germaanse Trias Groep zijn (Röt of Solling Formatie). Behalve boven enkele zoutstructuren en in het uiterste zuiden, wordt het laagpakket overal in het kaartbladgebied aangetroffen. De dikte bedraagt veelal niet meer dan 25 m. In het uiterste zuidoosten van Drenthe worden waarden van 50 tot 100 m bereikt.

De bovenste eenheid, de *Boven-Holland Mergel*, bestaat uit een opeenvolging van lichtgrijze en roodbruine mergels, waarvan het kalkgehalte doorgaans naar boven toeneemt. De Boven-Holland Mergel ligt in het algemeen concordant op de Midden-Holland Kleisteen en wordt afgedekt door de Texel Formatie. Het laagpakket komt voor binnen vrijwel het gehele verbreidingsgebied van de Rijnland Groep. De dikte bedraagt 50 tot 70 m in het noordelijke deel van het kaartbladgebied en neemt toe tot ruim 150 m in het zuiden. Waar de Midden-Holland Kleisteen ontbreekt, rust de eenheid discordant op oudere formaties. In de mergel zijn schelpfragmenten aanwezig. Het laagpakket werd afgezet in het Vroeg- tot Laat-Albien, in het Nedersaksisch Bekken vermoedelijk tot in het Vroeg-Cenomanien (Frieg & Kemper, 1989).

11.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

Het begin van de afzetting van de Vlieland subgroep wordt gemarkeerd door een belangrijke transgressie die de lacustriene omstandigheden van de Coevorden Formatie beëindigde en een lange periode van mariene sedimentatie inluidde. De afzetting van de Rijnland Groep werd bepaald door de daling van het Nedersaksisch Bekken (fig. 3.1). De hogen rondom dit bekken leverden sediment tijdens de afzetting van de Vlieland subgroep en werden tijdens de afzetting van de Holland Formatie gaandeweg overspoeld.

Langs de voormalige bekkenranden in het zuidelijke deel van het kaartbladgebied werden tijdens de afzetting van de Vlieland subgroep zanden afgezet, terwijl in oostelijke richting, naar het bekkencentrum, deze zanden snel dunner werden (fig. 11.4b,c) en de klei- en siltafzettingen sterk in dikte toenamen. Langs de randen van deze bekkens werd de afzetting van zand of klei bepaald door de stand van de



Figuur 11.4 a Dikte van de Vlieland subgroep; b. Dikte van de Bentheim Zandsteen; c. Dikte van de Gildehaus Zandsteen; d. Dikte van de Holland Formatie. Gegevens uit het aangrenzende Duitse gebied zijn ontleend aan Meyer (1969) en Schott et al. (1967a,b).

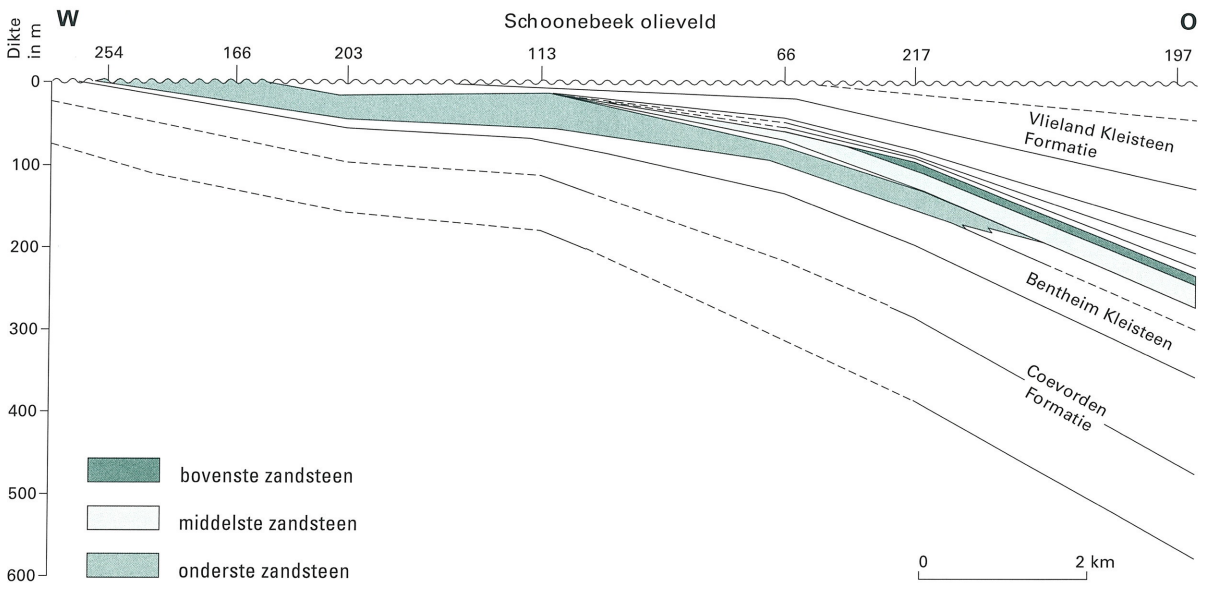
relatieve zeespiegel: een hoge zeespiegelstand resulteerde in klei- of siltafzetting (Bentheim Kleisteen, Ruinen en Westerbork Laagpakket), bij een relatief lage zeespiegelstand werden zanden afgezet (Bentheim Zandsteen, Gildehaus Zandsteen) die zich van elkaar onderscheiden door grote verschillen in afzettingsmilieu.

De Bentheim Zandsteen werd afgezet als een strandwal-complex onder invloed van sterke longitudinale en getijde stroming langs de randen van het Nedersaksisch Bekken (Kemper, 1976, 1992). Deze sterke stromingen zorgden voor de afwezigheid van klei en de goede sortering van de zandsteen. Een reliëf van troggen en hogen bepaalde in sterke mate de dikteontwikkeling van deze zandsteen. Na afzetting van de Bentheim Zandsteen breidde de bekkenfacies zich uit ten gevolge van een relatieve zeespiegelstijging en werden het Ruinen en Westerbork Laagpakket afgezet.

De Gildehaus Zandsteen is afgezet in een periode waarin de stroming veel zwakker was. Kemper (1992) suggereert dat door vochtiger klimaatsomstandigheden meer erosiemateriaal vanaf de hogen de bekkens werd ingespoeld. Door de geringere stroming in het bekken bevat de Gildehaus Zandsteen meer klei dan de Bentheim Zandsteen.

Na afzetting van de Gildehaus Zandsteen resulteerde een stijging van de zeespiegel wederom in de afzetting van overwegend fijnkorrelig materiaal; slechts in de onmiddellijke nabijheid van de hogen werd nog zand afgezet. In deze periode breidde het sedimentatiegebied zich in geringe mate uit over de hogen. Een alternatief is dat de afgezette sedimenten daar later weer zijn geërodeerd.

De Holland Formatie weerspiegelt in de bekkens de afzetting van kleiige mergels en kleien (Onder-Holland Mergel en Midden-Holland Kleisteen), terwijl in het zuidoosten ook zanden en conglomeraten werden afgezet, de producten van lokale erosie. Hierna volgde een belangrijke stijging van het zeeniveau, de in geheel West-Europa herkende Albien-transgressie (Crittenden, 1987). Tijdens deze trans-



Figuur 11.5 O-W correlatie door het Schoonebeek veld met de drie eenheden van de Bentheim Zandsteen. Het referentieniveau is de basis van de Midden-Holland Kleisteen.

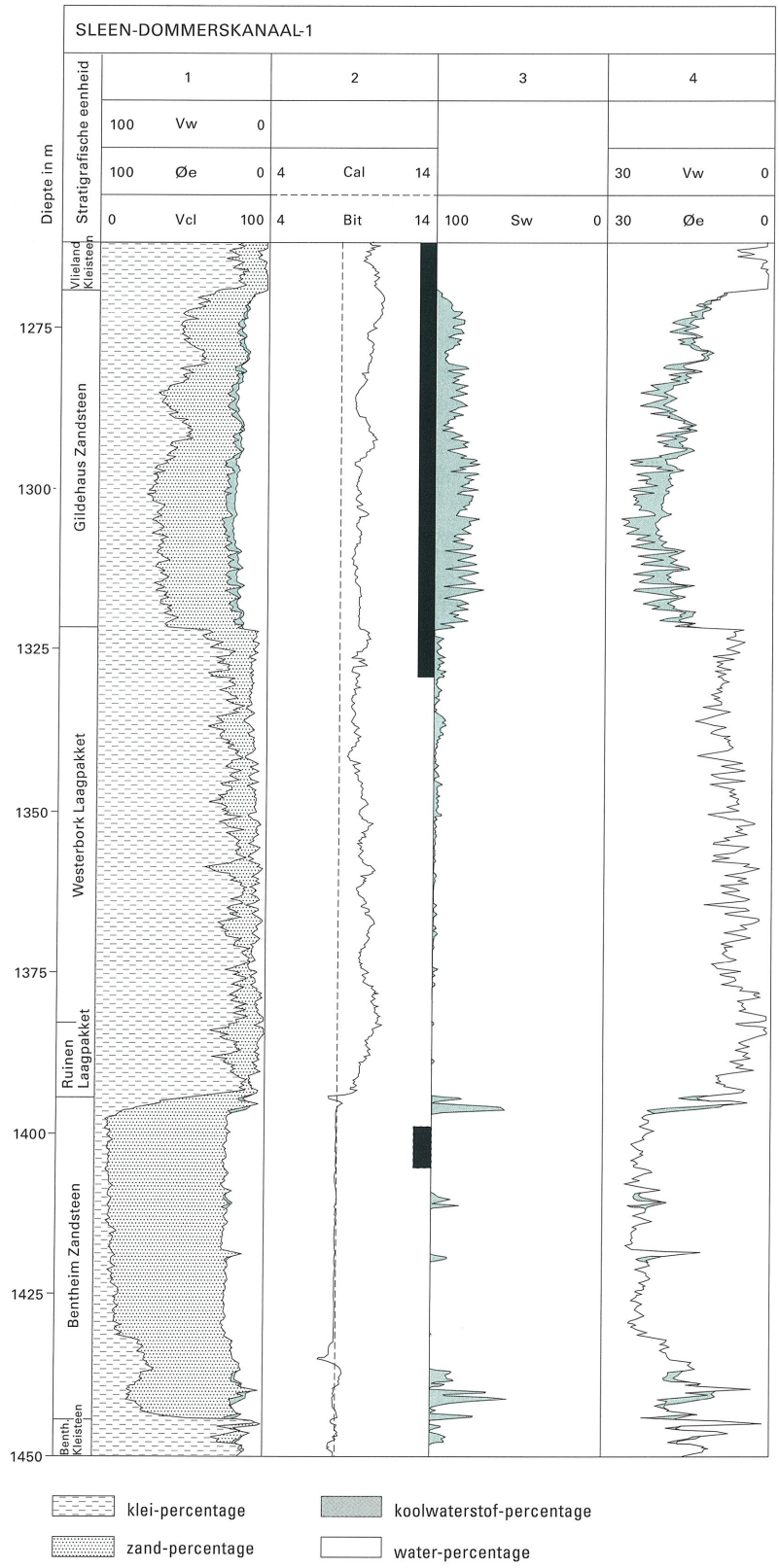
Figuur 11.6 Petrofysische evaluatie van de zandstenen van de Rijnland Groep in de boring Sleen-Dommers kanaal-1.

Kolom 1: kleigehalte V_{cl}, effectieve porositeit $Ø_e$ en poriënvolume water V_w, 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 *'shaly sand model'* (density log/neutron log), waarbij de bere- kende logporositeit werd gecorrigeerd voor de aanwezige klei en de aanwezige koolwaterstoffen.

Kolom 2: boorgatdiameter (Cal) en boorbeiteldiameter (Bit), beide in inches; bovendien zijn de gekernde intervallen door een zwarte balk weergegeven.

Kolom 3: de watersaturatie S_w, in procenten. Voor de bepaling van de watersaturatie werd de Indonesische formule gebruikt (Fertl, 1987).

Kolom 4: effectieve porositeit F_e (linker curve) en poriënvolume water V_w (rechter curve), beide in procenten. In de linkerkolom zijn de formatiegrenzen aangegeven. Diepten zijn werkelijke diepten.



gressie werden alle hogen in en rondom het kaartbladgebied overspoeld en werd de aanvoer van klastisch materiaal beëindigd. Dit wordt door de toename van het kalkgehalte in de Boven-Holland Mergel geïllustreerd.

11.3 Petrofysische evaluatie

Van negen boringen uit het kaartbladgebied en de directe omgeving werden de afzettingen van deze groep petrofysisch geëvalueerd (appendix K). In twee boringen zijn de zandstenen van de Rijnland Groep gas- of olievoerend aangetroffen (appendix L). Bij de petrofysische evaluatie is gebruik gemaakt van het *shaly sand model* met de density log (en neutron log) als porositeitslog(s). De Gamma-Ray log dient hierbij als klei-indicator. Als voorbeeld van een logevaluatie van het reservoirtraject van de Rijnland Groep wordt in fig. 11.6 het resultaat getoond van de boring Sleen-Dommerskanaal-1. Het reservoir van de Rijnland Groep bestaat uit een afwisseling van zanden en schalies.

Van de negen geselecteerde boringen binnen het kaartbladgebied zijn er van slechts één boring kernanalyse-data beschikbaar (Sleen-Dommerskanaal-1). Aan kernen gemeten porositeiten variëren van 12-33%, de permeabiliteiten van 135-525 mD.

In appendix K zijn de resultaten van de reservoirsommaties van de Rijnland Groep vermeld. Als cut-off voor de porositeit is de waarde van 8% gebruikt. Deze waarde is gebaseerd op kernanalyseresultaten uitgaande van een permeabiliteit cut-off van 0,1 mD. Voor de cut-off van het kleigehalte is de waarde van 50% gekozen.

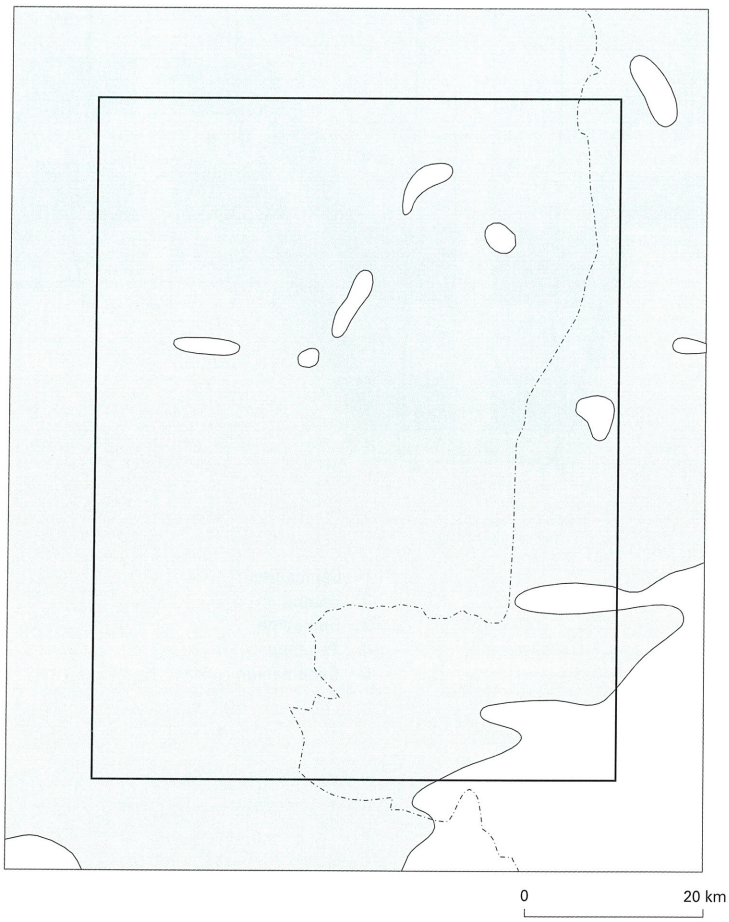
12 Krijtkalk Groep

12.1 Stratigrafie

De Krijtkalk Groep is opgebouwd uit een opeenvolging van goed gecementeerde, lichtgekleurde fijnkorrelige krijtkalken en mergelige kalken. Karakteristiek voor deze sedimenten is dat zij voornamelijk bestaan uit de kalkskeletten van planktonische en benthonische organismen en dat zij zeer weinig terrigeen materiaal bevatten. De dikte van de groep varieert binnen het kaartbladgebied meest tussen de 500 en 1000 m. De grootste dikte, ruim 1300 m, wordt in het zuiden van het gebied bereikt op het Friesland Platform en naast zout- en inversiestructuren ten oosten hiervan (Kaart 15).

De Krijtkalk Groep komt in het gehele kaartbladgebied voor, uitgezonderd boven enkele zoutstructuren (Kaart 14; fig. 12.1). De diepteligging van de basis van de groep varieert van enkele honderden meters boven een aantal zoutstructuren tot ruim 1900 m in de nabijheid van Assen.

De groep wordt onderverdeeld in de Texel en de Ommelanden Formatie en rust concordant of met een hiaat meest op de Holland Formatie en door zoutbeweging lokaal op de Zechstein, de Onder- of op de Boven-Germaanse Trias Groep. De Krijtkalk Groep wordt discordant bedekt door de Noordzee Supergroep. De opbouw van de groep wordt geïllustreerd aan de hand van een stratigrafisch profiel (fig. 12.2). De ouderdom van de groep binnen het kaartbladgebied is Cenomanien tot en met Maastrichtien.

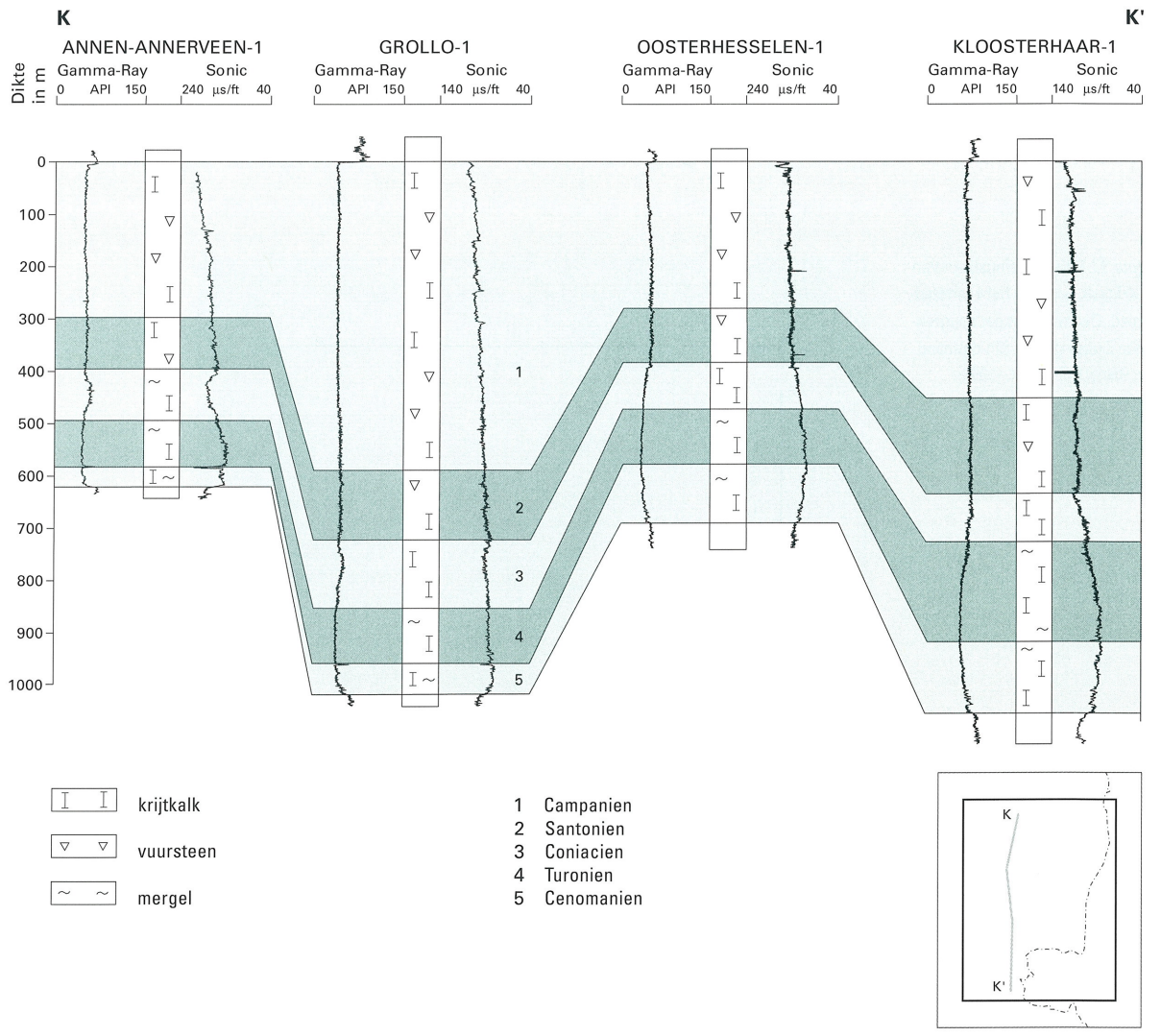


Figuur 12.1 Verbreidingskaart van de Krijtkalk Groep in het kaartbladgebied. Gegevens uit het aangrenzende Duitse gebied zijn ontleend aan Baldschuhn et al. (1996).

12.1.1 Texel Formatie

De Texel Formatie komt voor in het gehele verbreidingsgebied van de groep. In de formatie worden het Texel Mergelsteen en het Plenus Mergel Laagpakket onderscheiden. De dikte van de formatie be- draagt circa 50 m op het Groningen Hoog en het Friesland Platform. In het Nedersaksisch Bekken bereikt de formatie een dikte van 100 tot 150 m. De ouderdom van de formatie is Cenomanien.

De *Texel Mergelsteen* bestaat uit een afwisseling van witte mergels en kalksteenbanken in de onderste 10-20 m en kalksteenbanken daarboven. In het basale deel kunnen de mergels siltig tot zandig ontwikkeld zijn en bevatten *Inoceramus* fragmenten. In de kalksteen zijn stylolieten ontwikkeld. De ouderdom van de Texel Mergelsteen is Cenomanien.



Figuur 12.2 Correlatieprofiel K-K' van de Krijtkalk Groep tussen de boringen Annen-Annerveen-1, Grollo-1, Oosterhesselen-1 en Kloosterhaar-1.

De *Plenus Mergel* bestaat uit een kalkhoudende, bitumineuze, donkergekleurde gelamineerde kleisteen, met een zeer karakteristiek verschijningsbeeld op de boorgatmetingen. In het pakket komen vis- en koolresten voor. De dikte van het laagpakket bedraagt in het algemeen 1 tot 5 m. De ouderdom van de Plenus Mergel is jongste Cenomanien. Op het Emmen-Fehndorf Hoog, alsmede in enkele daaromheen gelegen boringen, ontbreekt dit laagpakket.

12.1.2 Ommelanden Formatie

De Ommelanden Formatie komt in vrijwel het gehele kaartbladgebied voor. De formatie wordt niet in laagpakketten onderverdeeld, maar door logcorrelatie, ondersteund door dateringen en seismische interpretatie, kunnen afzettingen van de verschillende Krijt-etages worden geïdentificeerd. Hierbij is uitgegaan van de door Baldschuhn & Jaritz (1977) opgestelde indeling in Noordwest-Duitsland, ondersteund door micropaleontologische dateringen (RGD, 1995d).

De formatie bestaat overwegend uit witte krijtkalk, kalksteen en grijze mergel. De zuivere kalksteen komt voor in het onderste deel van de formatie (Turonien), terwijl het middelste deel van de formatie een meer mergelig karakter heeft (Coniacien en Santonien). De fijne kalkmatrix bestaat uit resten van planktonische en benthonische microfossielen. In de sedimenten komen tevens fragmenten van macrofossielen voor, zoals lamellibranchiaten, brachiopoden en echinodermen. Enkele niveaus bevatten vuursteenknollen en pyriet.

De formatie werd afgezet tijdens het Turonien tot Maastrichtien. De Ommelanden Formatie ligt meestal concordant op de Texel Formatie. Op de Ommelanden Formatie rusten discordant afzettingen van de Noordzee Supergroep. De dikte varieert tussen ca. 100 en 900 m. De grootste dikte wordt bereikt in het uiterste zuiden van het kaartbladgebied op het Tubbergen Hoog.

Het stratigrafische correlatiediagram (fig. 12.2) toont dat in de richting van het Nedersaksisch Bekken vooral de onderste eenheden van de Ommelanden Formatie in dikte toenemen, terwijl de dikte van het Campanien in diezelfde richting afneemt. Ondanks het feit dat de totale dikte van de formatie ongeveer gelijk blijft, verandert de interne opbouw in laterale zin sterk van plaats tot plaats. Dit is deels te verklaren door het optreden van onderzeese afglijding en erosie tijdens de bekken-inversie (fig. 14.5).

12.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

De tijdens afzetting van de Rijnland Groep aangevangen eustatische zeespiegelstijging ontwikkelde zich gedurende de afzetting van de Krijtkalk Groep tot een mondiale transgressie. De kustlijn kwam daardoor steeds verder ten zuiden van het kaartbladgebied te liggen, hetgeen zich in de Texel Formatie uit in de toename van het kalkgehalte naar de top van de formatie. De Plenus Mergel, aan de top van deze formatie, weerspiegelt een tijdspanne waarin regionaal in de bekkens anoxische omstandigheden heersten.

De Ommelanden Formatie werd afgezet onder laag-energetische omstandigheden op een ondiep carbonaat platform. Zeespiegelfluctuaties en inversiebewegingen zorgden voor variaties in de mate van mergel en klei. Inversiebewegingen tijdens de Subhercynische fase (Santonien) en erosie tijdens het Vroeg-Paleoceen zijn verantwoordelijk voor de huidige dikte van de groep. Tijdens de inversiefase trad tevens slumping en redepositie van pakketten van de Ommelanden Formatie op (fig. 14.5). Deze bewegingen leidden tot een sterke daling van de voormalige hogen rondom het Nedersaksisch Bekken.

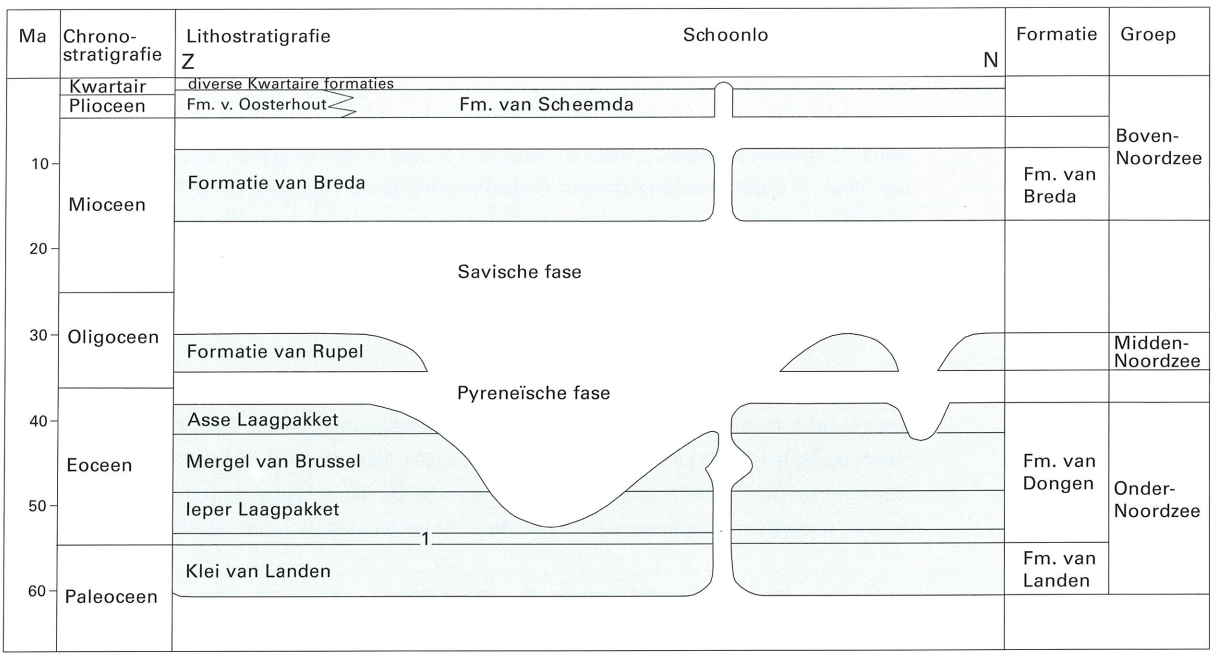
13 Noordzee Supergroep

13.1 Stratigrafie

De Noordzee Supergroep is hoofdzakelijk opgebouwd uit kleien en zanden die zijn afgezet in een ondiep marien en continentaal milieu. De Supergroep is onderverdeeld in de Onder-Noordzee, de Midden-Noordzee en de Boven-Noordzee Groep. De groepen worden van elkaar gescheiden door de Pyreneïsche fase (Laat-Eoceen/Vroeg-Oligoceen) en de Savische fase (Laat-Oligoceen/Vroeg-Mioceen). De Noordzee Supergroep bedekt discordant de afzettingen van de Krijtkalk Groep en lokaal de caprock van zoutpijlers (Kaart 20).

De Noordzee Supergroep is in het gehele kaartbladgebied aanwezig (Kaarten 16 & 17). De dikte is beïnvloed door halokinetische bewegingen van het Zechstein zout en varieert van ruim 1000 m in het noordwesten tot ruim 120 m boven de zoutstructuren Schoonlo en Zuidwending. Boven veel zoutstructuren is de Onder- en Midden-Noordzee Groep gedeeltelijk of totaal geërodeerd tijdens het Laat-Eoceen en het Oligoceen. Een aantal zoutstructuren vertoont sub-recente activiteit, gerelateerd aan bewegingen langs de Coevorden, Dalen en Hantum breukzones (Kaart 17).

In dit hoofdstuk wordt de opbouw en structuur van de Noordzee Supergroep toegelicht aan de hand van een chronostratigrafische overzicht (fig. 13.1) en twee profielen door het kaartbladgebied (fig. 13.2). De Kwartaire sedimenten worden hier niet beschreven; zij komen aan bod in geologische kaarten (Rijks Geologische Dienst 1979, 1990) en publicaties (Rappol, 1992; Zagwijn, 1989).



1 Basale Tuffiet van Dongen

Figuur 13.1 Lithostratigrafisch overzicht van de Tertiaire en Kwartaire afzettingen in het kaartbladgebied.

13.1.1 Onder-Noordzee Groep

De Onder-Noordzee Groep is in het gehele kaartbladgebied aanwezig, behalve direct boven een aantal zoutpijlers (Zuidwending, Schoonlo). De afzettingen rusten discordant op de Krijtkalk of de Zechstein Groep (fig. 13.2). De groep wordt, eveneens discordant, bedekt door de Midden- of Boven-Noordzee Groep. De Onder-Noordzee Groep bestaat uit de Formatie van Landen en de Formatie van Dongen (fig. 13.1). De Onder-Noordzee Groep is afgezet gedurende het Laat-Paleoceen en het Eoceen.

13.1.1.1 Formatie van Landen

De Formatie van Landen is opgebouwd uit klei en zand en is bijna in het gehele kaartbladgebied aanwezig. Direct boven een aantal zoutstructuren is de formatie afwezig door erosie of non-depositie. De formatie bestaat uit de *Klei van Landen*. Dit laagpakket is een 10 tot 40 m dikke, donkergroengrijze kleilaag, welke glauconiet, glimmers en pyriet bevat. De kleiige sedimenten zijn plaatselijk verhard door kalk. De ouderdom van de Klei van Landen is Laat-Paleoceen.

13.1.1.2 Formatie van Dongen

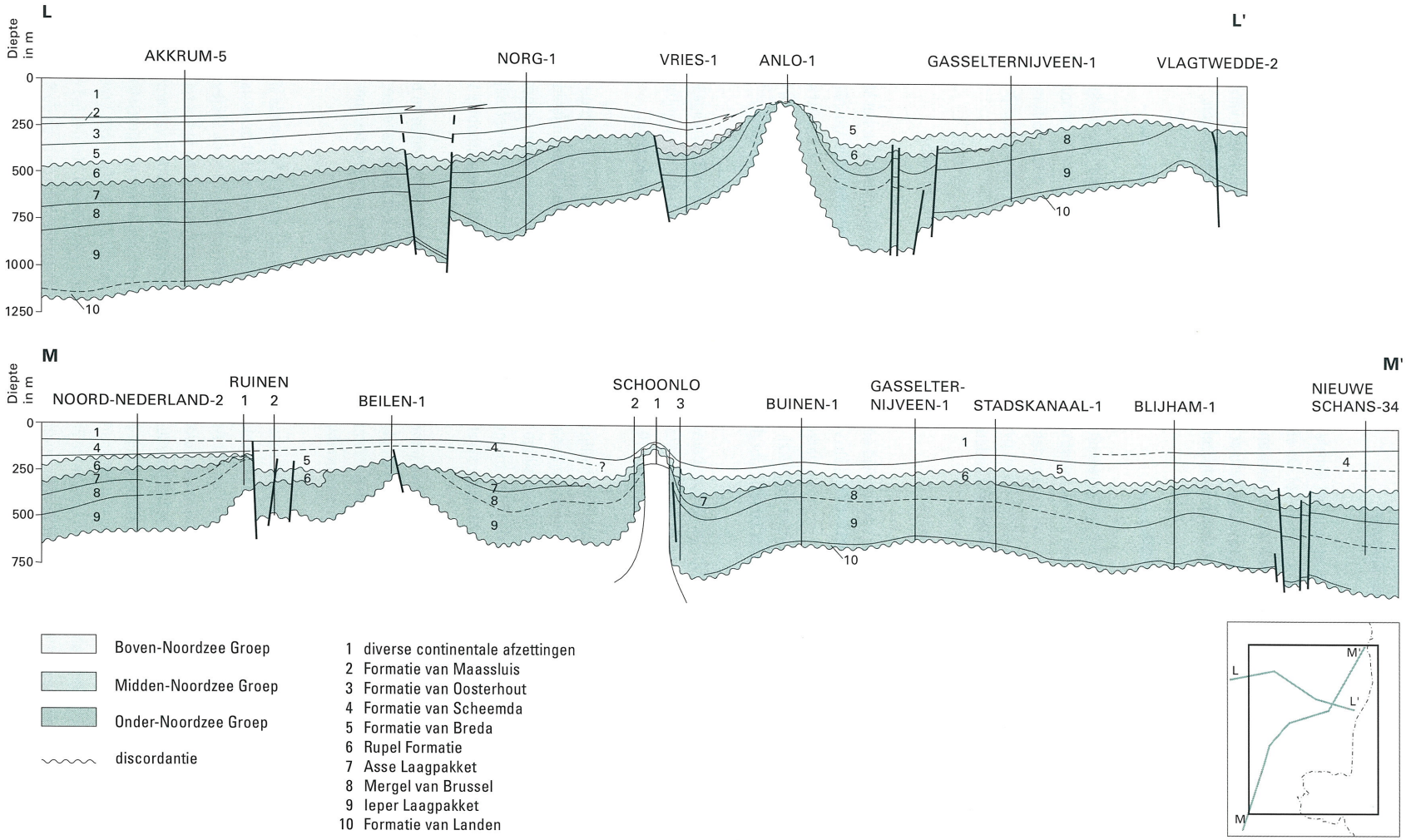
De Formatie van Dongen is opgebouwd uit het Basale Tuffiet van Dongen, het Ieper, het Mergel van Brussel en het Asse Laagpakket. De dikte van de formatie in het kaartbladgebied is afhankelijk van halokinetische bewegingen en erosie gedurende Pyreneïsche en Savische fase en bereikt een dikte van meer dan 450 m in het noorden (fig. 13.2). De Formatie van Dongen ligt concordant op de Formatie van Landen en wordt discordant bedekt door de afzettingen van de Midden-Noordzee Groep.

De *Basale Tuffiet van Dongen* is opgebouwd uit groengrijze glauconiethoudende zandige kleien en donkere tufinschakelingen. In het middelste deel is sprake van donkergrijze tot blauwgrijze tuf met dunne kleisteenlagen. De dikte varieert van 10 m tot 30 m. De ouderdom is Vroeg-Eoceen.

Het *Ieper Laagpakket* bestaat uit bruingrijze en roodbruine klei aan de basis en uit zandige klei aan de top en kan lokaal pyriet, schelpen, verkoolde plantenresten en benthonische foraminiferen bevatten. De vette kleien bevatten zandige en siltige niveaus. Het bovenste deel van het Ieper Laagpakket bevat groengrijze, glauconiethoudende en mergelige zandinschakelingen. Zandnesten in het laagpakket wijzen op bioturbatie. De dikte van het laagpakket varieert van 120 m tot 250 m; de ouderdom is Vroeg-Eoceen.

De *Mergel van Brussel* is 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.

Het *Asse Laagpakket* is een zeer plastische en groengrijze tot blauwgrijze, kalkhoudende klei en is van Laat-Eoceen ouderdom. De klei bevat veel pyriet en glauconiet. Het gehele pakket bevat zandnesten als gevolg van bioturbatie. De dikte van het Asse Laagpakket varieert van 30 tot 110 m. Dikteverschillen in het laagpakket zijn toe te schrijven aan erosie als gevolg van regionale opheffing in het zuiden en als gevolg van zoutbewegingen in het noorden. Het laagpakket ontbreekt ten gevolge van erosie in het voormalige Nedersaksisch Bekken, uitgezonderd in een aantal aan zoutstructuren gerelateerde depletiegebieden. In het centrale deel van het kaartbladgebied is een anticlinale structuur van Vroeg-Tertiaire ouderdom aanwezig waar de top van de Formatie van Dongen is geërodeerd. Het gebied waar de meeste erosie heeft plaatsgevonden wordt weergeven door de verbreidingskaart van de Asse Klei (fig. 13.3).



Figuur 13.2 Profielen L-L' en M-M' door de Kenozoïsche afzettingen van het kaartbladgebied (Rijks Geologische Dienst 1983, 1984).

13.1.2 Midden-Noordzee Groep

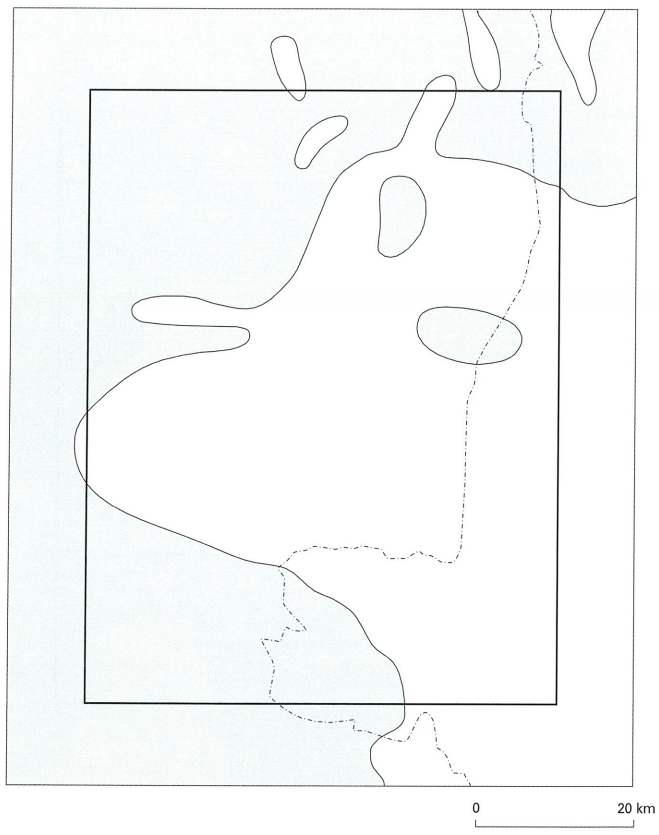
De Midden-Noordzee Groep ligt discordant op de Onder-Noordzee Groep en wordt, eveneens discordant, bedekt door de Boven-Noordzee Groep. De groep bestaat in het kaartbladgebied slechts uit de Formatie van Rupel. De dikte van deze groep varieert van 180 m in het zuiden tot 50 m in het noorden. De Midden-Noordzee Groep is afgezet gedurende het Vroeg- en Midden-Oligoceen en komt in vrijwel het gehele kaartbladgebied voor, met uitzondering van de zoutstructuren Veendam, Hoogezand, Zuidwending, Winschoten, Onstwedde, Schoonlo, Gasselte-Drouwen en Hooghalen (fig. 13.4; zie fig. 14.10 voor de locatie van de zoutstructuren).

13.1.2.1 Formatie van Rupel

De Formatie van Rupel bestaat uit het Vessem en het Rupel Klei Laagpakket. De ouderdom van de formatie is Vroeg- en Midden-Oligoceen. Het *Vessem Laagpakket* bestaat uit 5 tot 30 m glauconiet- en pyriethoudende zanden en komt slechts voor in het zuidelijk deel van het kaartbladgebied. De *Rupel Klei* bestaat uit stugge, vette, pyriethoudende groengrijze klei en is in het kaartbladgebied afgezet met een dikte van 20 tot 80 m.

13.1.3 Boven-Noordzee Groep

De Boven-Noordzee Groep is onderverdeeld in de formaties van Breda, Oosterhout, Scheemda en de Kwartaire afzettingen. De groep ligt discordant op de Midden-Noordzee Groep en bedekt discordant een



Figuur 13.3 De verbreidingskaart van het Asse Laagpakket geeft het gebied aan van de Pyreneïsche opheffing en erosie. Dit gebied komt grotendeels met het Nedersaksisch Bekken overeen (Rijks Geologische Dienst 1983, 1984).

aantal zoutstructuren. Afzettingen van deze groep zijn van Miocene, Pliocene en het Kwartaire ouderdom. De groep bereikt in het zuidoosten van het Drenthe een minimale dikte van 100 m en neemt toe tot meer dan 400 m in het noordwesten. In het zuidelijk deel van het kaartbladgebied treden in de Coevorden en de Dalen Slenk diktes van meer dan 300 m op. De diepteligging van de basis van de Boven-Noordzee Groep, vrijwel gelijk aan de diktekaart, wordt getoond op Kaart 17.

13.1.3.1 Formatie van Breda

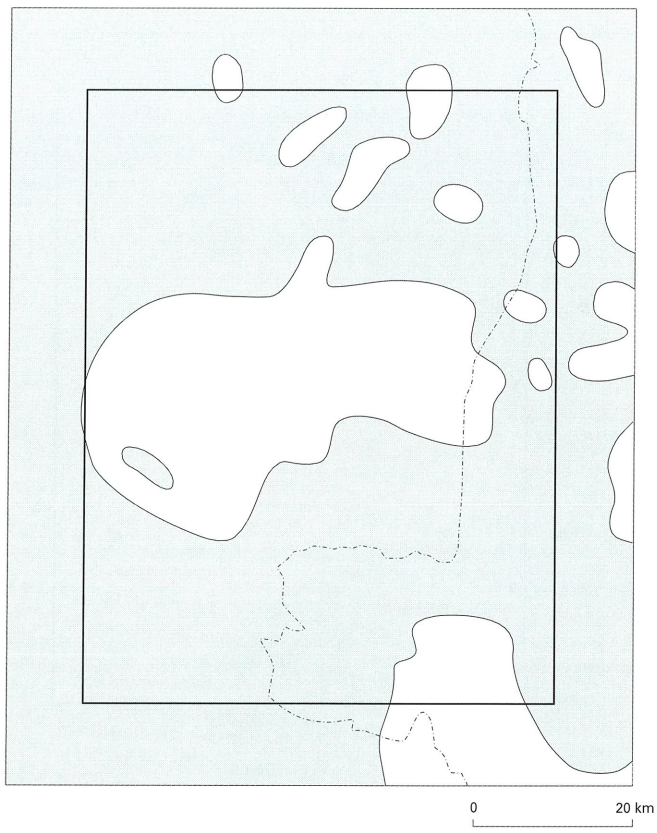
De Formatie van Breda bestaat uit glauconietrijke, groenzwarte kleien en zanden met een hoge uitslag op de Gamma-Ray log. De formatie is afgezet gedurende het Mioceen. Naar de top van de formatie neemt de korrelgrootte toe en het glauconietgehalte af. De dikte van de formatie bedraagt ruim 100 m in het noorden van het kaartbladgebied.

13.1.3.2 Formatie van Oosterhout

De Formatie van Oosterhout (Plioceen) komt slechts in het zuidwesten van het kaartbladgebied voor en bestaat uit een afwisseling van schelphoudende kleiige zanden en zandige kleien. Vooral het onderste en het bovenste deel van de formatie zijn zandig ontwikkeld. De dikte bedraagt circa 75 m.

13.1.3.3 Scheemda Formatie

De Formatie van Scheemda bestaat uit een pakket zanden en kleien die in hoofdzaak fluviatiel, deels in



Figuur 13.4 De verbreidingskaart van de Midden-Noordzee Groep (Rupel Klei) geeft het gebied aan van de Savische opheffing en erosie (Rijks Geologische Dienst 1983, 1984).

de kustvlakte, zijn afgezet. Het sediment bevat houtbrokjes en veenschilfers, kleibrokjes en fijn grind. De formatie is van Pliocene ouderdom en is een laterale equivalent van de Oosterhout Formatie waarin het, in het noorden en het oosten van het kaartbladgebied, overgaat.

De jongste formaties van Kwartaire ouderdom zijn opgebouwd uit zandige grindlagen, (kalkhoudende)zanden, kleien, (kei-)leem en veen. De maximale dikte van de Kwartaire formaties bedraagt meer dan 220 m in het noordwesten en minder dan 80 m boven enkele zoutstructuren.

13.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

De Kenozoïsche geschiedenis is nauw verbonden met de geschiedenis van de Noordzee, welke heden ten dage nog een deel bedekt van het Noordzee Bekken. Het onderhavig kaartbladgebied lag aan de rand van het Noordzee Bekken, waardoor een veranderend zeespiegelniveau gezorgd heeft voor een afwisseling van mariene, ondiep-mariene en continentale afzettingen. Gedurende het Kenozoïcum is het gebied sterk beïnvloed door tektonische bewegingen in het Nedersaksisch Bekken.

Na een periode van opheffing en erosie (Laramische fase) werd de sedimentatie hervat met de Formatie van Landen en Dongen. Afzetting van zanden en kleien wisselden elkaar regelmatig af in een ondiep marien milieu. Gedurende het Tertiair waren in het algemeen de bodemdaling en de sedimentatiesnelheid met elkaar in evenwicht, maar zeespiegelschommelingen hebben voor enige niet onbeduidende hiaten gezorgd (Zagwijn, 1989).

De sedimenten van de Noordzee Supergroep zijn overwegend in een ondiep marien milieu afgezet. In deze periode lag de kustlijn ver ten zuiden van het kaartbladgebied. Tijdens de afzetting van de jongste sedimenten van de groep, de Formatie van Scheemda en de overige Kwartaire formaties, breidden continentale afzettingsomstandigheden zich over het gebied uit.

13.3 Petrofysische gegevens

Afzettingen van de Noordzee Supergroep zijn niet petrofysisch geëvalueerd, daar er doorgaans geen koolwaterstoffen in voorkomen. Het Basale Dongen Tuffiet vormt hierop echter een uitzondering in het De Wijk veld waar het een der reservoirs vormt. Ondanks het fijnkorrelige karakter van de afzettingen heeft de eenheid een porositeit van ca. 30% en een permeabiliteit tussen 10 en 100 mD (Gdula, 1983). Deze gunstige eigenschappen worden door de laatsgenoemde auteur toegeschreven aan de goede sortering van de afzettingen en het ontbreken van diagenese.

14 Geologische geschiedenis

14.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de geologische geschiedenis van het kaartbladgebied vanaf het Laat-Carboon tot het Kwartair. Voor de oudere geschiedenis wordt verwezen naar overzichtspublicaties van Franke (1990) en Ziegler (1988, 1989, 1990). Het Kwartair wordt in detail behandeld in geologische kaarten (Rijks Geologische Dienst, 1979, 1990) en publicaties (Rappol, 1992; Zagwijn, 1989).

De geologische geschiedenis wordt per periode beschreven aan de hand van de verschillende tektonische fasen (fig. 1.5). Tijdens het Laat-Carboon zijn dit de fasen van de Varistische Orogenese die zijn gerelateerd aan het ontstaan van het Varistische Gebergte in Centraal-Europa. Tijdens de periode Vroeg-Perm tot het vroegste Krijt vonden een aantal fasen van rektektoniek plaats. Deze zijn verantwoordelijk voor het ontstaan van de belangrijkste structurele eenheden in het kaartbladgebied. Tijdens de Subhercynische fase gedurende het Laat-Krijt vond onder invloed van een compressief krachtenveld een kortstondige ommekeer (inversie) plaats van de bewegingsrichting van de belangrijkste structurele elementen. De fasen tijdens het Tertiair zijn aan de Alpiene Orogenese gerelateerd. Compressieve deformatie is toe te schrijven aan de botsing van Afrika met Europa ten zuiden en de opening van de Atlantische Oceaan ten noordwesten van het kaartbladgebied. Samen met het klimaat en de zeespiegelstand bepaalden de tektonische fasen de ontwikkeling van het gebied.

Getracht is in dit hoofdstuk de specifieke ontwikkeling van het kaartbladgebied te plaatsen in een regionaal kader (fig. 14.1). De belangrijkste tektonische elementen die in dit hoofdstuk worden besproken staan weergegeven in figuur 3.1.

14.2 Bekkenontwikkeling, sedimentatie en tektoniek

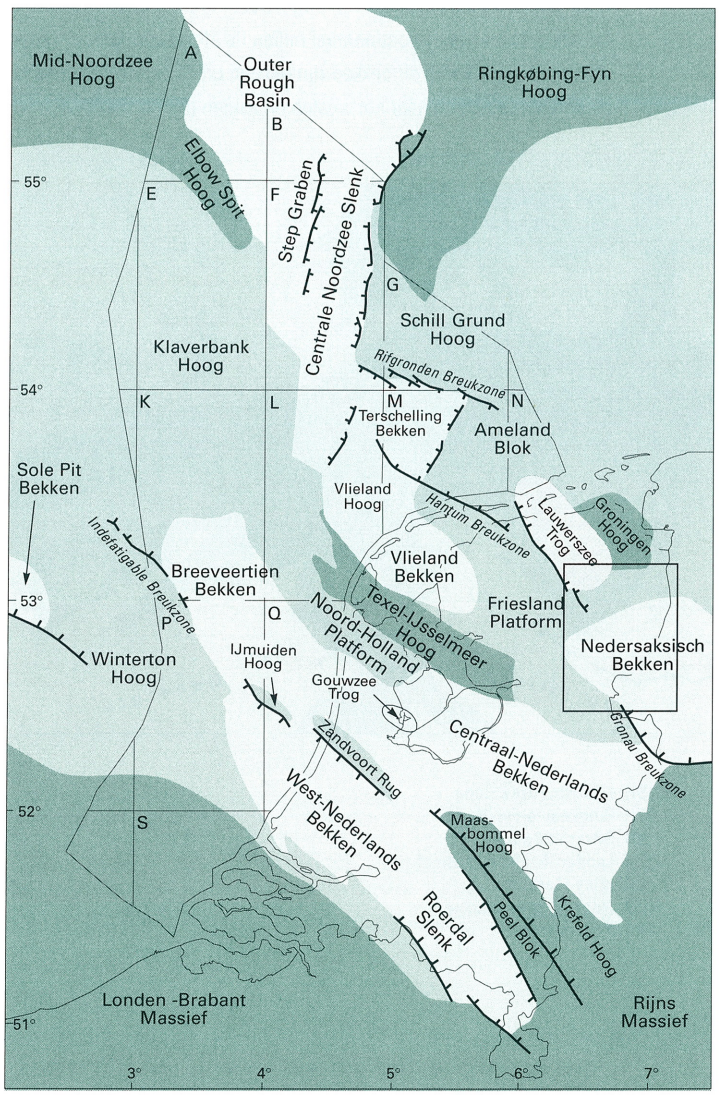
14.2.1 Laat-Carboon

De Varistische Orogenese heeft een grote stempel gedrukt op de geschiedenis van het Laat-Carboon. De vorming van de Varistische gebergtegordel ten zuiden en zuidoosten van het huidige Nederland heeft ook sterke invloed op de geologische geschiedenis van het kaartbladgebied gehad. De orogenese markeert de sluiting van de Proto-Tethys en de vorming van het supercontinent Pangea (Ziegler, 1990). In de orogenese worden twee compressieve deformatie-fasen onderkend, namelijk de Sudetische en de Asturische fase. Tijdens deze fasen werd een ongeveer O-W verlopende gebergtegordel gevormd in Europa. Het deformatiefront verplaatste zich tijdens deze fasen steeds verder noordwaarts (Lorenz & Nicholls, 1976).
Als reactie op de compressie en de isostatische belasting van het Varistisch gebergte vormde zich ten noorden van dit gebergte een voorlandbekken (fig. 4.4). Dit bekken daalde sterk vanaf het begin van het Laat-Carboon en werd opgevuld met de afbraakproducten van het gebergte. Het afzettingsmilieu tijdens het Laat-Carboon toont een duidelijke verlandingstendens, van sterk marien beïnvloede delta en pro-delta afzettingen tijdens het Namurien naar paralische en uiteindelijk fluviatiele afzettingen in het Westfalien. Tijdens het jongste Westfalien A en het Westfalien B werd de fluviatiele invloed op de sedimentatie groter en trad op grote schaal veenvorming op in moerassen tussen de rivieren; deze afzettingen, de Maurits Formatie, vormen een belangrijk moedergesteente voor het Nederlandse aardgas. Episodisch vonden tot in het Westfalien C nog kortstondige transgressies plaats die worden toegeschreven aan glacio-eustatische zeespiegelstijgingen (Ross & Ross, 1987). Door het zeer vlakke reliëf van het bekken besloegen ze grote gebieden. Tijdens het Westfalien C en D werd het klimaat droger door een langzame verschuiving van het gebied verder noordelijk van de evenaar (Van der Zwan et al., 1993; Pagnier & Van Tongeren, 1996; Ziegler, 1990), in combinatie met de vorming van de

Varistische gebergtegordel ten zuiden van het gebied die een blokkade vormde voor de vochtige lucht uit het zuiden.

De sedimentatie concentreerde zich vanaf het Vroeg-Westfalien C in toenemende mate in het Eems Diep in het oosten van het kaartbladgebied (Füchtbauer et al., 1991). Onder invloed van het compressieve spanningsveld werd een aantal NW-ZO breukzones gereactiveerd. De huidige verbreiding van het Westfalien D en Stefanien beperkt zich tot het Eems Diep (fig. 4.1), maar naar wordt aangenomen is ook sedimentatie hierbuiten opgetreden. De sedimenten waren hier echter dunner en werden tijdens het Vroeg-Perm geërodeerd. Het discordante contact tussen Stefanien en oudere Westfalien afzettingen is een indicatie voor de Asturische tektonische fase.

Met de Asturische fase werd de Varistische Orogenese feitelijk afgesloten. De bewegingen tijdens het Perm zijn wrench- en rekbewegingen en markeren de overgang naar de Kimmerische fasen die tijdens het Laat-Trias tot vroegste Krijt het opbreken van Pangea en de opening van de Atlantische Oceaan begeleiden. Deze wrench- en rekbewegingen tijdens het Vroeg-Perm hebben geresulteerd in een sterke



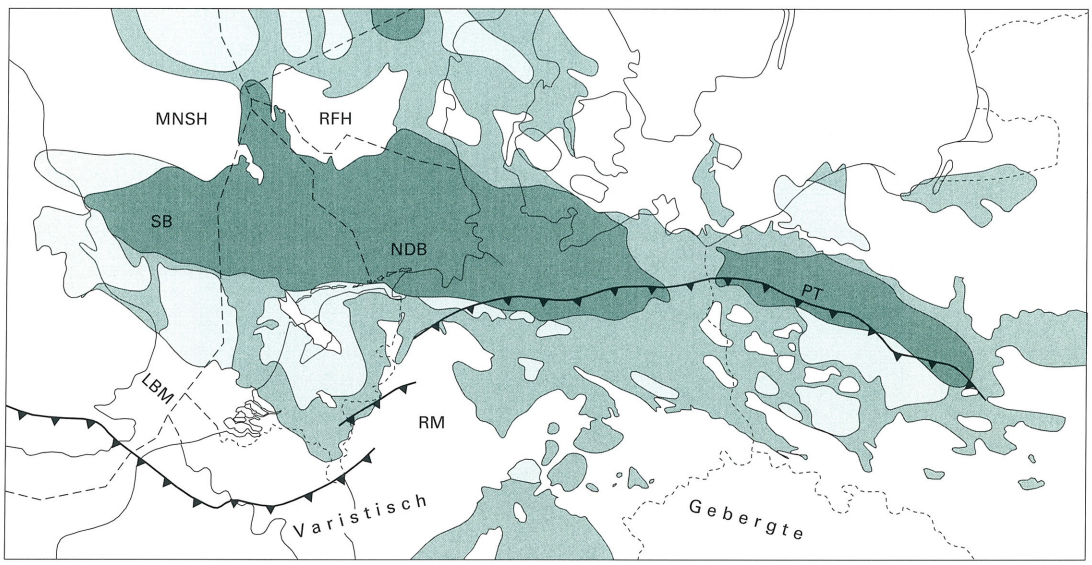
Figuur 14.1 Overzichtskaart van de voornaamste structurele elementen in Nederland tijdens het Mesozoicum (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993-1997). De positie van het kaartbladgebied, aan de westrand van het Nedersaksisch Bekken, is met een kader weergegeven.

daling in het Eems Diep en een sterke opheffing en erosie op het Friesland Platform en het Groningen Hoog. Hier dagzomen nu afzettingen van het Westfalien B (fig. 4.1) en is er meer dan 1500 m van de Limburg Groep geërodeerd. De gereconstrueerde erosie in het Eems Diep bedroeg vermoedelijk minder dan 300 m.

14.2.2 Perm

Tijdens het Vroeg-Perm onderging het kaartbladgebied een O-W georiënteerde rek. Deze rek leidde tot de vorming van diepe breuken, in relatie waarmee vulkanisme optrad in het oosten van het kaartbladgebied en het aangrenzende deel van Duitsland. In het Eems Diep wisselden lavastromen en lacustriene sedimenten elkaar af in de Onder-Rotliegend Groep (Kaart 1). De extrusie van vulkanische gesteenten lijkt te zijn gerelateerd aan de interferentie van een systeem van N-Z met O-W georiënteerde breuken. Rekkrachten vormden hier een klein *pull-apart* bekken, waarin lavastromen en sedimenten accumuleerden. Na afzetting van deze sedimenten volgde een lange tijd van erosie en non-depositie.

Aan het eind van het Vroeg-Perm ontstond door een combinatie van rekspanningen en de afkoeling van deze vulkanische gesteentes een uitgestrekt intracratonisch bekken: het Zuidelijk Perm Bekken. In dit bekken werden in een continentaal milieu de afbraakproducten van het Varistisch gebergte afgezet. De oudste sedimenten in dit bekken zijn bekend uit Noordoost-Duitsland en vandaar breidde de sedimentatie zich uit naar het westen en zuiden (Plein, 1995).



Figuur 14.2 Paleogeografische kaart van Noordwest-Europa aan het begin van het Laat-Perm (Boven-Rotliegend Groep; naar Lokhorst, 1998; Sørensen & Martinsen, 1987).

Het grootste deel van het kaartbladgebied bevond zich lang buiten het sedimentatiegebied. Het Eems Diep waar tijdens het Vroeg-Perm vulkanische activiteit optrad, werd het laatst door sediment bedekt (fig. 5.1). Pas in de loop van het Laat-Perm ging het noordelijke deel van het kaartbladgebied deel uitmaken van het Zuidelijk Perm Bekken (fig. 14.2). Er werden onder aride klimaatsomstandigheden eolische en fluviatiele zanden en conglomeraten van de Boven-Rotliegend Groep afgezet. In noordwestelijke richting neemt het aandeel van de fluviatiele sedimenten af ten gunste van eolische en lacustriene sedimenten. Tijdens vochtiger periodes breidden lacustriene condities zich over het noordelijke deel van het gebied uit (Ten Boer Laagpakket). Doordat de afgezette hoeveelheid sediment in het Zuidelijk Perm Bekken achterbleef bij de daling van het gebied, kwam het gehele bekken onder het toenmalige zeeniveau te liggen (Glennie, 1983).

Slenk-vorming in het Noord-Atlantische/Arctische gebied leidde tijdens het Laat-Perm, tezamen met een eustatische zeespiegelstijging tot de vorming van een open verbinding tussen de in het noorden gelegen Barentsz Zee en het Zuidelijk Perm Bekken (Ziegler, 1990). In het bekken dat onder het toenmalige zeeniveau was gedaald, vond een zeer snelle transgressie plaats (Glennie, 1983). Dit leidde tot de vorming van een grote binnenzee waarin, door een samenspel van enerzijds het aride klimaat en anderzijds een wisselende instroming van zeewater, cycli van carbonaten en evaporieten werden afgezet. Belangrijke transgressies markeren de basis van de verschillende cycli (Taylor, 1998).

Tijdens de afzetting van de Z1 (Werra) Formatie traden transtensionele bewegingen op, de Tubantische I fase (Geluk, 1999a). Deze bewegingen leidden tot een reactivatie van oudere breukzones en hadden een grote invloed op de paleogeografie van de Zechstein Groep. In het zuiden en het oosten van het kaartbladgebied vormde zich een anhydrietplatform dat als een barrière ging fungeren en leidde tot de vorming van een subbekken ten zuiden hiervan (TNO-NITG, 1998). Het voorkomen van dit anhydrietplatform is gerelateerd aan de Onder-Perm vulkanische afzettingen (vergelijk figs. 5.1 en 7.2a).

Belasting door snel afgezette anhydriet op het gedifferentieerde substraat leidde tot versterking van de reeds aanwezige reliëfverschillen. Dit resulteerde in aanmerkelijke dikteverschillen in de Z1 (Werra) Formatie (Geluk, 1999a). De differentiële bewegingen tijdens de Tubantische I fase hielden nog tijdens de afzetting van de Z1 (Werra) Formatie op; jongere afzettingen van de Zechstein Groep liggen als een deken over deze formatie heen (Geluk, 1999a; Geluk et al., 1997).

Tijdens de afzetting van de Z2 (Stassfurt) tot Z4 (Aller) Formatie lag het gebied aan de zuidrand van het hoofdbekken. In elk van deze formaties is dan ook zout afgezet. Tijdens de initiële transgressies aan het begin van de cycli heersten normaal mariene omstandigheden en werden carbonaten afgezet. Deze carbonaten vormen belangrijke reservoirgesteenten in het kaartbladgebied. De Z2 Carbonaat werd vooral in grote diktes afgezet langs de randen van het Z1 anhydrietplatform (fig. 7.28). Op het voormalige anhydrietplatform heersten ondiep-water en hoog-energetische afzettingsomstandigheden. Ten noorden van het platform, in het bekken, werd een sterk gecondenseerde opeenvolging van fijnkorrelige, organisch-rijke diep-water carbonaten afgezet. Op de helling tussen het platform en het bekken treden de grootste sedimentdiktes op. Hier vond hoofdzakelijk redepositie van platform-materiaal plaats.

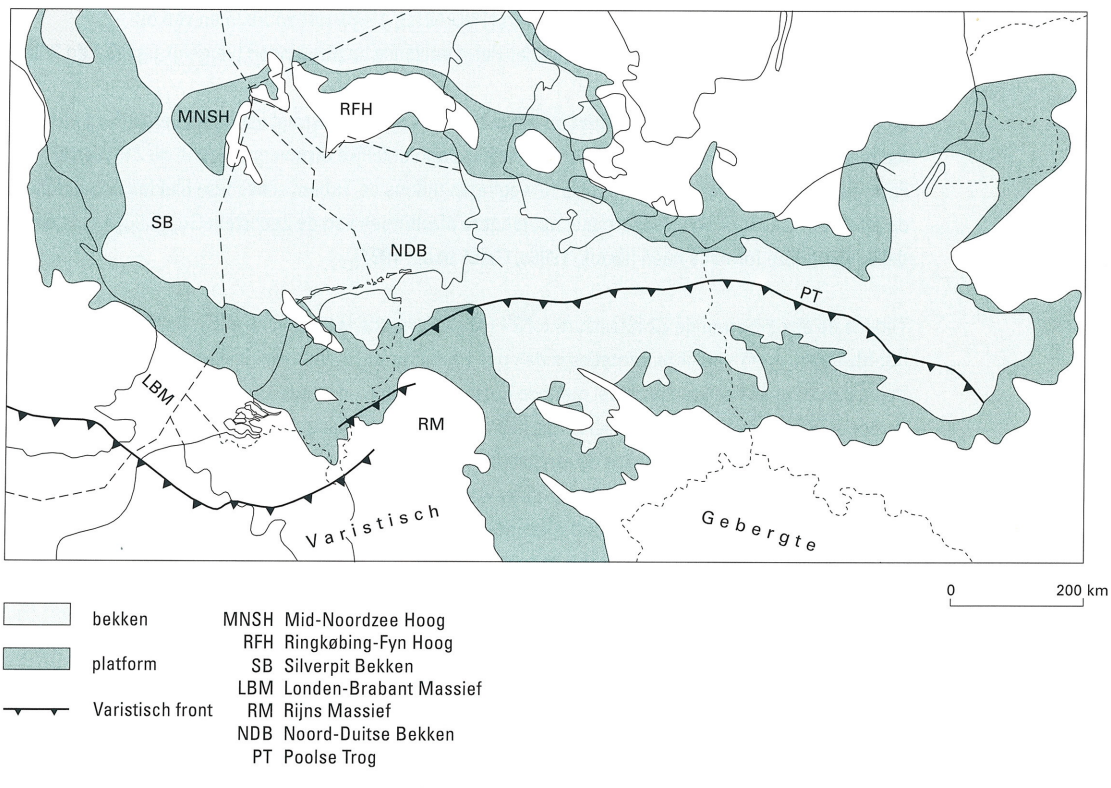
Nadat de instroming van zeewater in het bekken wederom werd beperkt, volgde de afzetting van anhydriet en steenzout. Met name tijdens de afzetting van het Z2 Zout werden er grote diktes van steenzout afgezet in het kaartbladgebied, tot circa 700 m. Het tijdens de Z2 Carbonaat nog aanwezige relief werd grotendeels opgevuld. De cycliciteit in het Z2 Zout wordt aan fluctuaties in de instroming van zeewater toegeschreven (Geluk, 1995). De afzetting van Kalium-Magnesium zouten aan het eind van de afzetting van het Z2 cyclus voltrok zich tijdens een periode van grootste indamping van de aanwezige pekel.

Na de afzetting van het Z2 Zout waren de reliëfverschillen in het bekken grotendeels verdwenen. Het zuidelijk deel van het Groningen Hoog was iets ondieper, hier vormden zich ondiep-water carbonaten. Ook het Friesland Platform vormde een ondieper gelegen eenheid waar een dik pakket anhydriet sedimenteerde. Tijdens de afzetting van het Z3 Zout volgde een grootschalige uitdroging van het bekken. In geïsoleerde depocentra werden Kalium-Magnesium zouten van verschillende chemische samenstelling afgezet. Het kaartbladgebied valt op door de aanwezigheid van bisschoffiet, een der meest oplosbare zouten op aarde (Coelewij et al., 1978; Geluk, 1995). Dit wijst op een complete uitdroging van het bekken aan het eind van de afzetting van het Z3 Zout.

Tijdens de jongste cycli van het Zechstein trad er een verlanding op van het Zuidelijk Perm Bekken; de hierin aanwezige pekel bleef hypersalien. In de Z4 (Aller) en Z5 (Ohre) Formatie zijn geen carbonaten meer afgezet, maar voornamelijk kleisteen en zout. Voorafgaande aan de afzetting van de Zechstein Boven-Kleisteen Formatie voltrokken zich tektonische bewegingen in het kaartbladgebied die tot een opheffing van onder meer het Friesland Platform en het Groningen Hoog leidden. Deze bewegingen, de Tubantische II fase, vormden een fase van rektektoniek (Geluk, 1999a). Na deze bewegingen werd de Zechstein Boven-Kleisteen Formatie als een deken disconform op oudere afzettingen van de Zechstein Groep afgezet en werd de verbreiding van de Z5 (Ohre) Formatie beperkt (fig. 7.4d).

14.2.3 Trias

De Trias kenmerkte zich aanvankelijk door een uiterst gelijkmatige bekkendaling. Het Zuidelijk Perm



Figuur 14.3 Paleogeografische kaart van Noordwest-Europa tijdens het Laat-Perm (Z2 Carbonaat; Lokhorst, 1998).

Bekken bleef voortbestaan en wordt om die reden ook dikwijls het Permo-Triassisch Bekken genoemd. Ten gevolge van een tweetal fasen van rektektoniek werd dit bekken tijdens de Trias sterk gemodificeerd en door verschillende NNO-ZZW georiënteerde elementen doorsneden, zoals het Eems Diep, de Glückstadt Graben, de Horn Graben en de Centrale Noordzee Slenk (Ziegler, 1990). De aangevoerde clastica tijdens de Vroeg-Trias zijn van het zuidelijk gelegen Varistische gebergte afkomstig, tijdens de Laat-Trias werd voornamelijk materiaal vanaf het Fennoscandisch Schild aangevoerd (Ziegler, 1990).

In het kaartbladgebied werden aanvankelijk sedimenten in een lacustrien tot playa-milieu afgezet. Opheffing van de brongebieden, in combinatie met fluctuaties van de waterspiegel in het bekken, leidde tot de episodische uitbouw van riviersystemen en de vorming van zandduinen. Hierdoor werd een cyclische opeenvolging van zand en klei/silt afgezet (Geluk & Röhling, 1997). Tijdens de Vroeg-Trias werden tijdens de Hardegsen fase verschillende Varistische tektonische elementen gereactiveerd. Ten westen en noorden van het kaartbladgebied manifesteerde zich een hoog, de *Netherlands Swell*. Hier bedroeg de erosie ruim 300 m; in het Eems Diep werd daarentegen slechts circa 100 m door erosie verwijderd. Op de hogen zijn door deze bewegingen geen of slechts de onderste afzettingen van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep gepreserveerd (fig. 14.4).

De bewegingen van de Hardegsen fase bestonden uit een drietal kortdurende pulsen van rektektoniek, met langere perioden van regionale daling. Tijdens deze pulsen werd de *Netherlands Swell* steeds verder geaccentueerd. Tijdens de tussenliggende dalingsperioden waren de verschillen in sediment-accumulatie tussen de *Netherlands Swell* en het Eems Diep gering. De huidige dikteverschillen (fig. 8.2b) zijn hoofdzakelijk het gevolg van erosie en in mindere mate van depositionele verschillen (Geluk & Röhling, 1997). Uit de dikte van de Onder-Detfurth Zandsteen blijkt dat de *Netherlands Swell* toen een duidelijk relief vormde waar slechts dunne zandlagen werden afgezet, Tijdens de opheffing en erosie werden ook enkele NW-ZO georiënteerde breuken gereactiveerd waar lokaal sterke erosie plaats vond en vrijwel de gehele Onder-Bontzandsteen Formatie door erosie is verdwenen. Tevens trad tijdens de Hardegsen fase de eerste beweging van het Zechstein zout in het kaartbladgebied op, met name in het NO van het gebied.

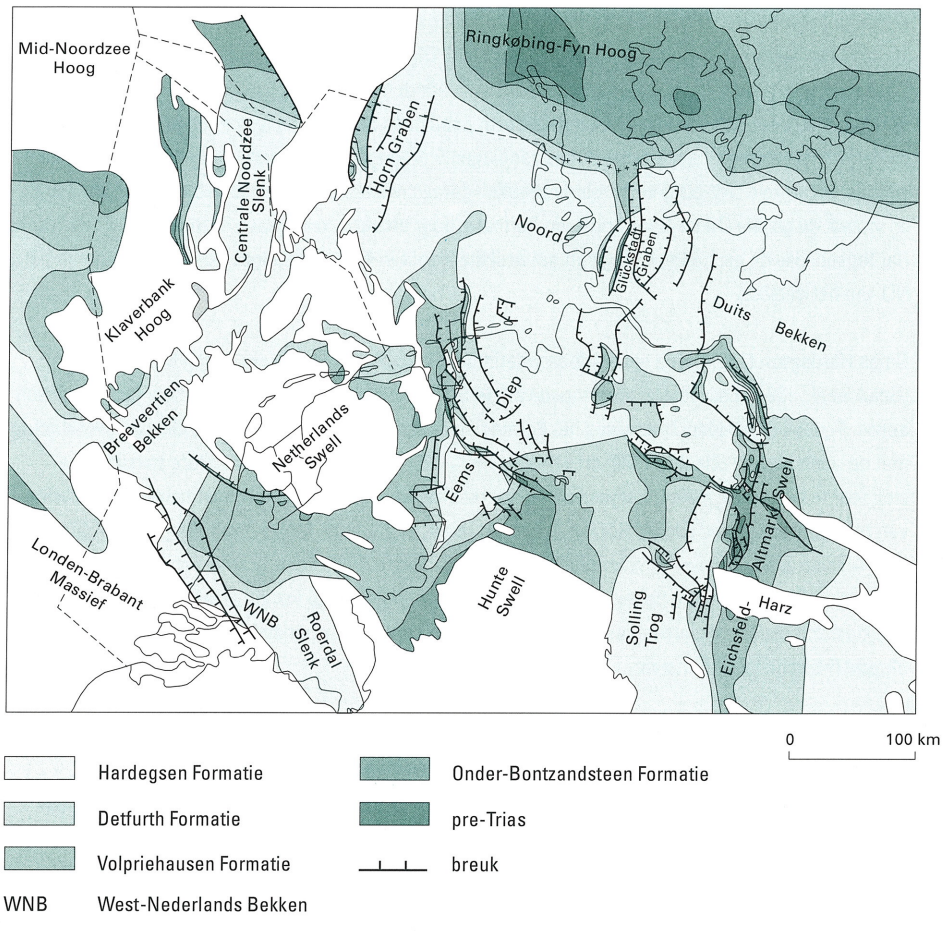
Na de Hardegsen fase volgde een periode waarin het Eems Diep een sterkere daling bleef vertonen (Geluk et al., 1996). Lacustriene afzettingen van de Solling Formatie bedekten het gehele gebied als een deken. Tijdens de Midden-Trias kreeg het Permo-Triassisch Bekken in het oostelijke deel een verbinding met de open oceaan (Ziegler, 1990) en vond een geleidelijke transgressie plaats. Deze transgressie stagneerde een aantal malen, hetgeen leidde tot de afzetting van evaporieten, met name in het oosten van het kaartbladgebied (Hoofd-Röt Evaporiet, Boven-Röt Evaporiet, Muschelkalk Evaporiet). Tijdens het Laat-Anisien zetten mariene omstandigheden in het gebied in. In de verre omtrek van het kaartbladgebied werden de hogen door de zee bedekt en ten gevolge van de afname van de aanvoer van klastisch materiaal werden van het Laat-Anisien tot Ladinien carbonaten, mergels en evaporieten afgezet (Muschelkalk Formatie).

Tijdens de Midden-Trias tot het Vroeg-Krijt nam de tektonische instabiliteit sterk toe ten gevolge van de desintegratie van Pangea (Ziegler, 1990). Deze instabiliteit kwam tot uitdrukking in een aantal tektonische pulsen tijdens de Midden- en Laat-Trias, waarbij de sterkste bewegingen zich tijdens het Carnien (Laat-Trias) voltrokken. Deze bewegingen staan bekend als de Kimmerische fasen die de structurele ontwikkeling van Noordwest-Europa beheersten. Om praktische redenenen worden zij gerelateerd aan belangrijke hiaten in de stratigrafische opeenvolging.

De eerste, Vroeg-Kimmerische tektonische fase leidde in het gebied tot een sterke differentiatie. In het

NO van het kaartbladgebied ontstond een N-Z georiënteerd complex slenksysteem waarin veel van de extensie werd geaccommodeerd (zie fig. 8.4c). Deze slenk wordt als een modificatie beschouwd van het Eems Diep uit het Carboon en Vroeg-Perm. Daarnaast traden tijdens de Laat-Trias ook bewegingen langs de Holsloot Breukzone op (fig. 14.5). De bewegingen in de slenk traden op vanaf de Hardegsen Fase. Aanvankelijk werden deze gekenmerkt door opheffing en erosie, later door sterke daling. Deze slenken zijn een goed voorbeeld van in de literatuur beschreven *rift-raft* structuren, waarbij de Trias in grote blokken uiteengetrokken wordt (Best, 1996; Thieme & Rockenbauch, 1999). Langs de breuken trad met intermitterende activiteit de sterkste daling op tijdens het Laat-Anisien en het Carnien (Frisch & Kockel, 1997; Geluk, 1999b). Tijdens het Carnien werden er dikke pakketten steenzout in de slenk afgezet, terwijl het hierbuiten nauwelijks tot de afzetting van zout kwam. In totaal kan de dikte van de Keuper Formatie in het Eems Diep 1000 m bedragen, tegen nog geen 200 m in de aan de Holsloot Breukzone gelieerde slenk. Gelijktijdig met de sterke daling trad erosie op in de buiten de slenk gelegen gebieden, waarbij de mate van erosie toeneemt vanaf de slenk in ZW richting.

Tijdens het Norien nam de tektonische activiteit sterk af, hetgeen blijkt uit de sterk verminderde verschillen in dikte tussen de slenk en de gebieden ten westen hiervan. De Rode Keuper Kleisteen markeert de Vroeg-Kimmerische discordantie. Het meest westelijke en zuidelijke deel van het



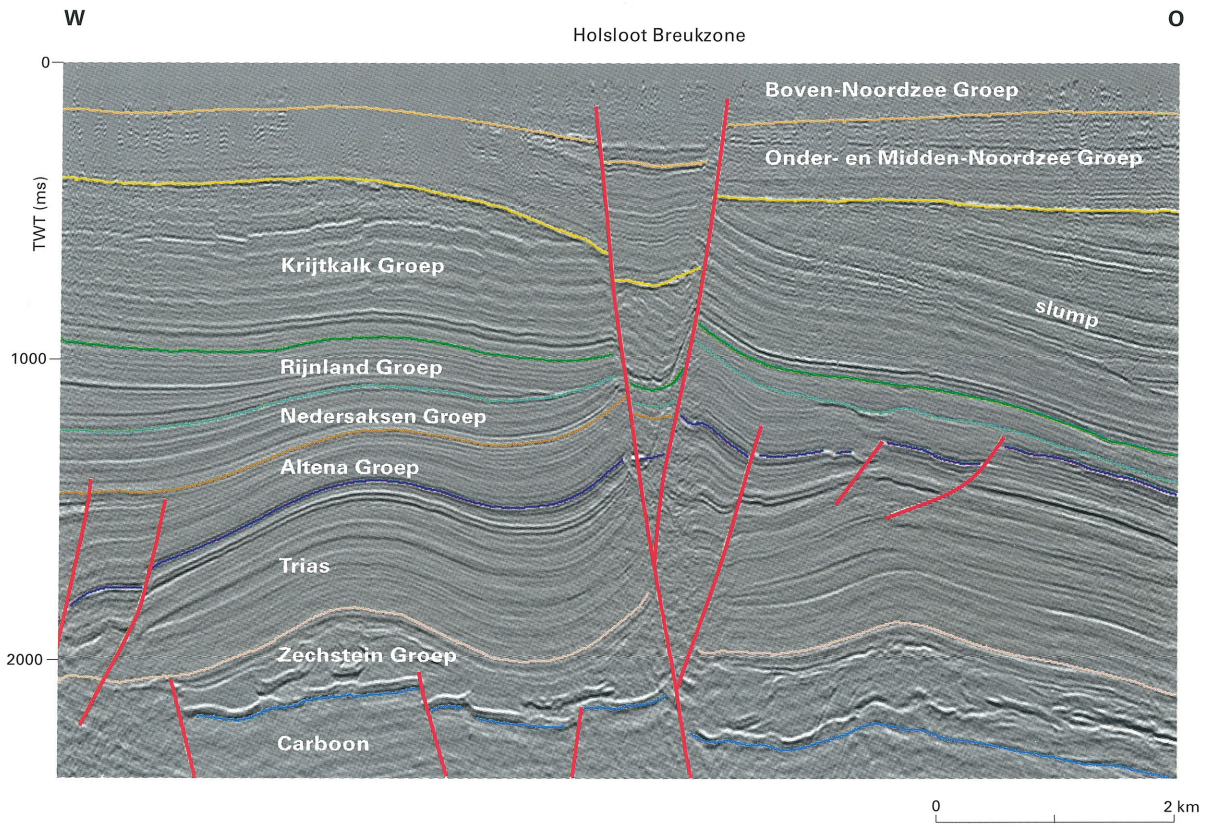
Figuur 14.4 Afgedekte kaart onder de Hardegsen discordantie (naar Geluk & Röhling, 1999).

kaartbladgebied bleven nog langer hoge gebieden, wat blijkt uit de Rhaetien transgressie op de Vroeg-Kimmerische discordantie (fig. 8.4d). Hierbij lijkt de Holsloot Breukzone een belangrijke rol te hebben gespeeld (fig. 14.5). Tijdens de jongste Trias (Rhaetien) zette een regionale daling van het gebied in en namen de differentiële breukbewegingen af.

14.2.4 Jura

In combinatie met een zeespiegelstijging resulteerde de regionale daling vanaf het Rhaetien in de afzetting van fijnkorrelige mariene sedimenten. De Vroeg- en Midden-Jura afzettingen komen tegenwoordig in gescheiden bekkens voor. Toch zijn ze ooit in één aaneengesloten zeer uitgestrekt zeegebied afgezet dat zich uitstrekte over een groot deel van Noordwest-Europa. Dit valt af te leiden uit de uniforme opbouw en het fijnkorrelige karakter van de afzettingen. Aan het eind van de Vroeg-Jura (Toarcien) trad een periode van stagnatie in de zeebekkens op, waardoor in grote delen van dit gebied organisch-rijke sedimenten werden afgezet (Posidonia Schalie Formatie). In het oosten van het kaartbladgebied zijn deze afzettingen lokaal bewaard gebleven (fig. 9.2).

Uit de dikteontwikkeling van de Aalburg Formatie blijkt dat differentiële breukbewegingen tijdens de



Figuur 14.5 Seismische sectie door de Holsloot Breukzone. Deze Tertiaire breukstructuur was reeds gedurende de Laat-Trias actief, wat duidelijk blijkt uit de grote diktewisselingen. In het Boven-Krijt is slumping waar te nemen. 3D survey Hoogenweg, lijn 6080

Vroeg-Jura voortduurden. De O-W richting van de breukstructuren was anders dan tijdens de Laat-Trias. Gedurende het Bajocien-Bathonien werd het zeebekken ondieper en kleiner, vermoedelijk in samenhang met de opheffing van de Centrale Noordzee (Ziegler, 1990). Deze opheffing, de Mid-Kimmerische fase, betrof ook het noorden van het kaartbladgebied. Het Friesland Platform en het Groningen Hoog waren onderdeel van een groot opgeheven gebied dat daarnaast de Centrale Noordzee en de noordelijke delen van Duitsland omvatte (Ziegler, 1990). Deze opheffingsfase leidde tot een zandinflux vanuit het noorden in het Nedersaksisch Bekken, vooral ten oosten van het kaartbladgebied.

Tijdens de Laat-Jura voltrokken zich een aantal belangrijke tektonische gebeurtenissen. Dit betreft de Laat-Kimmerische fase, met een eerste puls aan het begin van de Laat-Jura en een tweede op de grens Ryazanien-Valanginien. De ONO-WZW gerichte rekspanningen leidden tot de vorming van een aantal riftbekkens in Noordwest-Europa, zoals de Centrale Noordzee Slenk, het West- en Centraal-Nederlands Bekken en het Nedersaksisch Bekken. Tijdens het Oxfordien en Kimmeridgien trad een zeer sterke daling op in het Nedersaksisch Bekken (Baldschuhn et al., 1991; Betz et al., 1987; Gramann et al., 1997). De daling concentreerde zich in een aantal breukgebonden troggen waarvan slechts de ondiepere uiteinden zich in het kaartbladgebied bevinden. Deze troggen werden door hogen gescheiden, zoals het Emmen-Fehndorf Hoog (fig. 3.1).

Het Nedersaksisch Bekken stond in directe verbinding met het Centraal-Nederlands en het Vlieland Bekken, hetgeen blijkt uit de overeenkomsten van de sedimentaire opeenvolging in zowel de opbouw en de ouderdom (TNO-NITG, 1998; Rijks Geologische Dienst, 1993a). Deze verbinding is door pre-Valanginien erosie verdwenen. Het Nedersaksisch Bekken lag gedurende de Laat-Jura geïsoleerd van andere mariene bekkens; ten gevolge hiervan werd hierin een evaporitische opeenvolging afgezet.

Tijdens het jongste deel van het Portlandien namen de differentiële bewegingen af en breidde het sedimentatiegebied zich verder uit over de zoutopwelvingen en de hogen langs het bekken (Serpuliet). Aangenomen wordt dat ook de hogen voor een groot deel met een dunne sediment-opeenvolging bedekt waren.

14.2.5 Krijt

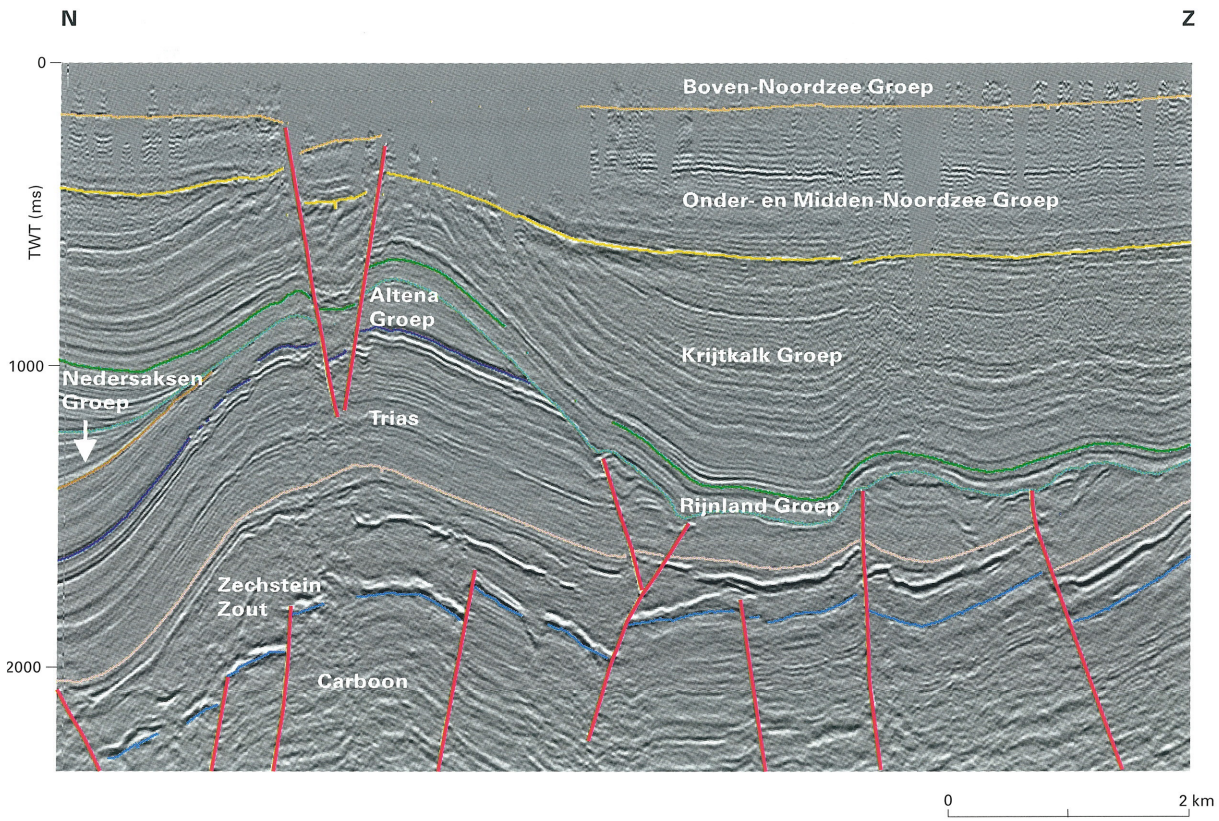
Tijdens het Krijt zette een geleidelijke zeespiegelstijging in die in het Laat-Krijt zijn hoogtepunt zou bereiken (Hancock & Scholle, 1975). De sedimentatie had zich tegen het einde van het Vroeg-Krijt tot over het gehele kaartbladgebied uitgebreid. De Krijt-transgressie was waarschijnlijk de respons op de toegenomen spreidingssnelheid van de oceaanbodem en de daaraan gekoppelde volumevergroting van de mid-oceanische ruggen (Pitman, 1978; Donovan & Jones, 1979). De daling zette zich voort tot in het Turonien, waarna de Laat-Krijt inversiebewegingen van de Subhercynische fase aanvingen. Deze leidden tot een opheffing van de bekkengebieden en een daling van de voormalige hogen.

Aanvankelijk werden in het kaartbladgebied lacustriene sedimenten afgezet (Coevorden Formatie). Tijdens het Ryazanien was de bekkendaling regionaal van aard en het sedimentatiegebied breidde zich ten opzichte van de Laat-Jura nog verder uit over de voormalige bekkenranden. Brakwaterinflux in het Nedersaksisch Bekken (Wolburg, 1949) wijst op kortstondige verbinding tussen het lacustriene Nedersaksisch Bekken met het Vlieland Bekken of het Terschelling Bekken. Tussen deze gebieden zijn geen Boven-Jura afzettingen gepreserveerd. Vermoedelijk hebben bij deze verbinding differentiële bewegingen van de Hantum Breuk een rol gespeeld; een andere optie is dat de influx tot stand kwam via de zogenaamde Vlieland Zandsteen corridor ten westen van het kaartbladgebied (Rijkers & Geluk, 1996). Tijdens het oudste Valanginien kwam het Nedersaksisch Bekken ten gevolge van een zeespiegelstijging in verbinding met voornoemde mariene bekkens.

De tweede puls van de Laat-Kimmerische fase, tijdens het Ryazanien-Valanginien, leidde tot een accentuering van de het reliëf rondom de bekkens. Het Tubbergen Hoog het Dalfsen Hoog en het Friesland Platform werden hierbij sterk opgeheven en er vond hier sterke erosie plaats (Kaart 19). Grote hoeveelheid zandig erosiemateriaal werd in ondiep mariene omstandigheden rondom deze hogen afgezet (Bentheim Zandsteen, Gildehaus Zandsteen). De fijnere bestanddelen werden in de centrale delen van de bekkens afgezet.

Tijdens het Hauterivien en Barremien breidde het sedimentatiegebied zich verder uit over de aangrenzende hogen. Zoals blijkt uit de dikteontwikkeling van de afzettingen bleef het Nedersaksisch Bekken sterk dalen (fig. 11.4a-c). Tijdens het Aptien vond een kortdurende regressie plaats die met de Austrische tektonische fase samenvalt (Ziegler, 1990). Deze bewegingen leidden tot de reactivatie van hogen in het zuiden van het gebied en tot een hiaat in de sedimentaire opeenvolging. Dit is vooral duidelijk boven het Schoonebeek olieveld (fig. 11.5).

Na de bewegingen van de Austrische tektonische fase zette een regionale daling van het gehele gebied in. Tijdens het Laat-Aptien en vooral het Albien, werden alle hogen in en rondom het kaartbladgebied



Figuur 14.6 Voorbeeld van een inversiestructuur. De verdunning van het Boven-Krijt (Krijtkalk Groep) is complementair aan de dikte van de Trias tot Onder-Krijt sedimenten. Extensie gedurende het Laat-Tertiair leidde tot de vorming van het slenk in de flank van de inversie-anticline. Deze sectie geeft tevens een goed beeld van de ontkoppeling van de breuken boven het zout en er onder. 3D survey Hoogenweg, lijn 8400.

door de zee overspoeld. Deze Albien-transgressie wordt in geheel Noordwest-Europa herkend (Crittenden, 1987). De zeespiegelstijging zette zich tot in het Turonien voort. Dientengevolge breidde het zeegebied in Noordwest-Europa zich sterk uit en nam de influx van klastisch materiaal navenant af. Kleien en mergels van het Aptien en Albien werden tijdens het Cenomanien en Turonien door dikke pakketten mergel en kalksteen opgevolgd. De grootste daling bleef in het Nedersaksisch Bekken geconcentreerd, maar de verschillen in daling namen sterk af. Breukbewegingen deden zich nauwelijks meer voor (Baldschuhn et al., 1991).

Aan deze periode van regionale daling kwam een einde tijdens het Coniacien. Oorzaak was een belangrijke plaat-reorganisatie als gevolg van extensie en slenk-vorming door de oceaanbodem-spreiding in de Arctische en Noord-Atlantische Oceaan (Coward, 1991), de botsing tussen Europa en Afrika (Ziegler, 1987) en door lokale factoren (Baldschuhn et al., 1991). Dit resulteerde ter plekke in een compressief tektonisch regime. Tijdens de periode Coniacien tot Vroeg-Campanien leidde dit tot een omkering in de bewegingsrichting van de dalingsgebieden en breuken. De inversie leidde tot een opheffing van de voormalige Boven-Jura/Onder-Krijt bekkens en een sterke daling van de voormalige hogen (Baldschuhn et al., 1991; Tantow, 1992). Deze hogen vormden de randtroggen van de opgeheven gebieden; hun daling is gerelateerd aan de opheffing van de naastgelegen bekkens (Voigt, 1963). Ten oosten van het kaartbladgebied werd in het Nedersaksisch Bekken vrijwel de gehele Krijt-opeenvolging geërodeerd. De inversie ging hier gepaard met de intrusie van magma, waarbij de Vlotho en Bramsche massieven werden gevormd (Teichmüller et al., 1984). In het kaartbladgebied zelf was de inversie duidelijk geringer en resulteerde in de opheffing van een aantal voormalige dalingsgebieden, zoals de Schoonebeek structuur in het zuiden en tot een fase van versnelde stijging van zoutpijlers en de laterale intrusie van zout (zie paragraaf 14.4). Figuur 14.6 toont een voorbeeld van de inversie.

De inversiebewegingen waren reeds voor het Campanien weer beëindigd. Hierna hervatte de regionale bekkendaling en breidde de sedimentatie van de Krijtkalk Groep zich over de geïnverteerde bekkens uit.

14.2.6 Kenozoïcum

De ontwikkeling van het Tertiair en Kwartair werd bepaald door het ontstaan van het Noordzee Bekken dat tot op heden de sedimentatiegeschiedenis beïnvloedt. Tijdens het Tertiair en Kwartair zorgden een stijgende zeespiegel en een voortgaande daling voor de afzetting van meer dan 3500 m sediment in het centrale deel van dit bekken (Ziegler, 1990). In het kaartbladgebied en met name in het zuidoosten hiervan, is de daling echter veel geringer geweest (Kaarten 16 & 17).

Een regressie gedurende het Vroeg-Paleoceen leidde in combinatie met nabeweging van het geïnverteerde Nedersaksisch Bekken tot opheffing en erosie. Hierbij werden de jongste, post-inversie, afzettingen van de Krijtkalk Groep geërodeerd in een groot gebied rondom dit bekken. Deze opheffings-fase staat bekend als de Laramische fase.

Gedurende het Tertiair is de sedimentatie sterk beïnvloed door zeespiegelbewegingen en een aantal aan de Alpiene Orogenese gerelateerde tektonische fasen, zoals de Pyreneïsche op de overgang Eoceen-Oligoceen en de Savische op de overgang Oligoceen-Mioceen. De afzetting van de Noordzee Supergroep vond hierdoor met de nodige hiaten en erosie plaats. Het gebied dat werd opgeheven werd gevormd door het Nedersaksisch Bekken en de randen hiervan. De meeste formaties zijn wel in het kaartbladgebied afgezet, maar later weer grotendeels geërodeerd. Dit kan worden afgeleid uit de facies van de afzettingen van de geïsoleerde voorkomens in relatie tot afzettingen buiten het kaartbladgebied.

Tijdens het Tertiair traden nog slechts op enkele plaatsen breukbewegingen op. Deze betroffen

voornamelijk bewegingen aan de Laat-Kimmerische breukzones, zoals de Hantum Breukzone, de Dalen Slenk en de Holsloot Breukzone (fig. 3.1; Kaarten 16 &17).

Tijdens het Plioceen zette een verlanding van het kaartbladgebied in, het eerst in het noorden van het gebied. Tijdens het Kwartair heersten continentale omstandigheden en werd door meerdere glacialen de huidige topografie gevormd.

14.3 Geochemische evaluatie en begravingsgeschiedenis

14.3.1 Inleiding

Als bijdrage aan de karteringsactiviteiten is een geochemische evaluatie en een modelstudie verricht naar de generatie van koolwaterstoffen. De modelstudie is gebaseerd op een combinatie van geologische, geochemische en petrofysische gegevens.

Het meest belangrijke moedergesteente voor koolwaterstoffen in het kaartbladgebied is de steenkool van de Limburg Groep (Boven-Carboon). De kolen werden gevormd uit terrestrisch plantenmateriaal (kerogeen type III). Uit deze kolen werd tijdens de geologische geschiedenis voornamelijk gas gegenereerd. Het gas werd opgevangen in reservoirs die op meerdere plaatsen in het gebied zijn aangetroffen (zie Hoofdstuk 2). De koolvoering binnen de Limburg Groep beperkt zich tot de Caumer Subgroep. De koolvoering in deze subgroep met een dikte van circa 2000 m verschilt aanzienlijk. In de Baarlo en de Ruurlo Formatie bedraagt de koolvoering 1 tot 2%, terwijl de koolvoering in het bovenste deel, de Maurits Formatie, circa 3,5% bedraagt.

Naast de koollagen komen nog andere moedergesteenten in het kaartblad voor. Dit zijn de *hot shales* van het Geverik Laagpakket, lacustriene moedergesteenten in de Limburg Groep en de bekkenfacies van de Z2 Carbonaat. Behalve deze Paleozoische moedergesteenten komen in het kaartbladgebied ook moedergesteenten van Mesozoische ouderdom voor. Dit zijn de organisch-rijke mariene Posidonia Schalie Formatie in de Altena Groep (kerogeen type I) en lacustriene moedergesteenten in de Coevorden Formatie. Deze moedergesteenten hebben voornamelijk olie gegenereerd, met name de olie in het Schoonebeek veld.

Het overgrote deel van de koolwaterstoffen in dit gebied is afkomstig uit de Limburg Groep. Omdat er geen informatie is over het Geverik Laagpakket, werd alleen de koolwaterstofgeneratie uit de Caumer Subgroep gemodelleerd.

Een van de methoden om de begravingsgeschiedenis van een gebied te reconstrueren is door vergelijking van gemeten inkolingen van organisch materiaal in sedimenten met theoretisch berekende inkolingswaarden. Deze werkwijze is gebaseerd op de eigenschap van organisch materiaal dat met toenemende temperatuur (en dus begravingsdiepte) de fysisch-chemische samenstelling verandert. De mate van inkoling is afhankelijk van de temperatuur, de duur van de temperatuurinwerking en de aard van het organisch materiaal. De veranderingen van het organisch materiaal worden beschreven door de wet van Arrhenius. Ze zijn bovendien gerelateerd aan het reflecterend vermogen van het organisch materiaal, waardoor een theoretische reflectiewaarde berekend kan worden. De empirische reflectiewaarde wordt onder standaard-omstandigheden gemeten. Voor kolig materiaal varieert het reflectievermogen van 0,2%Rr (veen), via 0,6%Rr (bruinkool), tot meer dan 2%Rr (antraciet).

Voor het ijken van de begravingsgeschiedenis in de geologische modelstudies worden diverse soorten parameters ingevoerd die indirect betrekking hebben op de wet van Arrhenius. De stratigrafische en

geochronologische input beschrijft de sedimentatiesnelheid en bepaalt daarmee de tijdseffecten. De lithologische gegevens leveren de randvoorwaarden voor compactie, conductiviteit en warmtecapaciteit. Hiermee kan in combinatie met de oppervlaktetemperatuur de verticale warmtestroom en de heersende temperatuur worden berekend. Het type organisch materiaal wordt microscopisch en chemisch bepaald. Dit geeft informatie over de activatie-energieën van de organische bindingen en dus over type en hoeveelheid gegenereerde koolwaterstoffen.

Voor 15 boringen in het gebied zijn begravingsmodellen opgesteld conform de beschreven geologische geschiedenis. Aangezien er in het gebied aanzienlijke opheffing en erosie is opgetreden, neemt de onzekerheid met toenemende ouderdom toe. Met behulp van het softwarepakket GENEX werd vervolgens de theoretische inkoling bepaald door aannames te doen over de warmtestroming in het verleden. De theoretisch berekende inkoling is vervolgens getoetst aan de werkelijk gevonden inkolingsdata. Hierdoor was het mogelijk om het aantal mogelijke begravingscurven te beperken tot enkele realistische modellen. De reconstructie van olie- en gasgeneratie berust op een groot aantal invoergegevens, elk met hun eigen onzekerheden. Er worden aannames gedaan over onder meer de mate van erosie, de diepte van het basement, de lithologische eigenschappen, de paleowarmtestroom, permeabiliteit en compactie. De reconstructie van de hoeveelheid gegenereerde koolwaterstoffen wordt met name beïnvloed door de aannames in paleowarmtestroom, de mate van erosie en het gehanteerde kinetische concept.

De reconstructie van de begravingsgeschiedenis van het kaartbladgebied is door de vele bewegingsfasen en optredende erosie complex. Er is uitgegaan van een min of meer gelijkmatige dikte van de koolvoerende lagen van de Caumer Subgroep. Tijdens de afzetting van de Dinkel en Hunze Subgroep trad in het oostelijke gebied (Eems Diep) een sterke daling op. Per boring is zo gedetailleerd mogelijk geprobeerd om de dalingsgeschiedenis te reconstrueren. Voor de paleowarmtestroom is in deze studie uitgegaan van een constante warmtestroom.

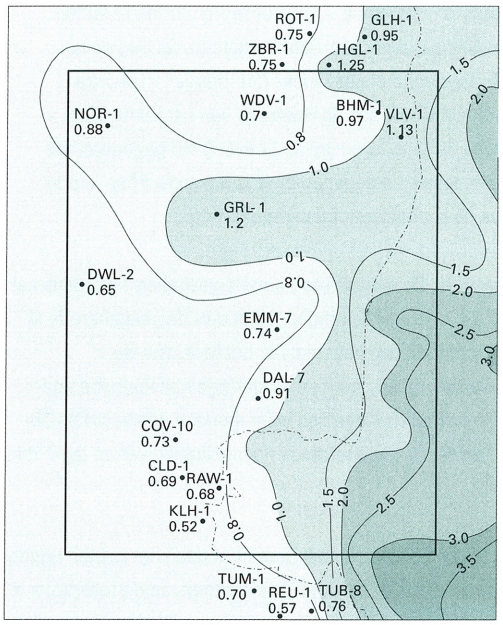
Van 13 boringen binnen het kaartbladgebied is het organisch materiaal uit de gesteenten van de Limburg Groep en de Koperschalie bestudeerd om het begravingsmodel te toetsen. Gesteenten van de Altena Groep waren niet beschikbaar. Inkolingsgegevens werden bepaald aan de hand van diverse inkolingsparameters zoals vitrinietreflectie (%Rr), RockEval Tmax en andere geochemische indexen.

14.3.2 Resultaten

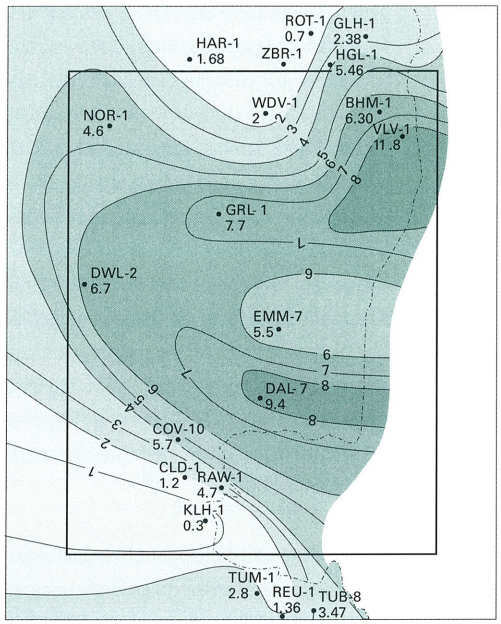
Die geografische verspreiding van de bestudeerde boringen maakt een reconstructie voor het hele kaartbladgebied mogelijk. Van de 15 onderzochte boringen leverden er 13 betrouwbare inkolingsdata voor de Limburg Groep op. In twee boringen was het gehalte organisch materiaal te laag. Op grond van deze gegevens en een vergelijking met data van Koch et al. (1997) wordt een goed beeld verkregen van de inkoling van de top van de Limburg Groep. Deze vertoont de hoogste waarden in het Nedersaksisch Bekken en lagere inkoling in het gebied van de Friesland platform (fig. 14.7a).

De begravingsgeschiedenis van het kaarblad wordt geïllustreerd aan hand van de boringen Annerveen-Wildervank-1 op de rand van het Groningen Hoog (fig. 14.8) en de boring Dalen-7 in het Nedersaksisch Bekken (fig. 14.9). Beide boringen vertonen opvallende verschillen in de hoeveelheid en tijdstip van de gegenereerde koolwaterstoffen. In boring Dalen-7 begint de gasgeneratie al direct aan de top van de Limburg Groep en is tijdens de geologische geschiedenis een groot deel van het organisch materiaal omgezet in koolwaterstoffen. In boring Annerveen-Wildervank-1 ligt het bovenste gedeelte van de Limburg Groep in het olievenster en begint significante gasgeneratie pas 500 m onder de top van de Limburg Groep (fig. 14.8a).

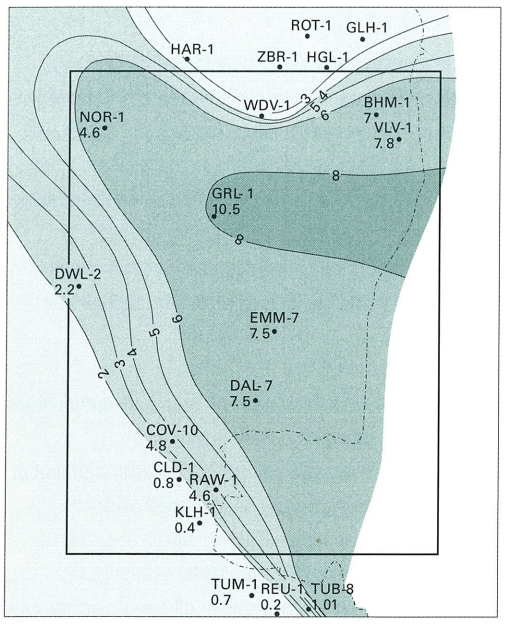
a. Inkoling top Carboon (%Rr)



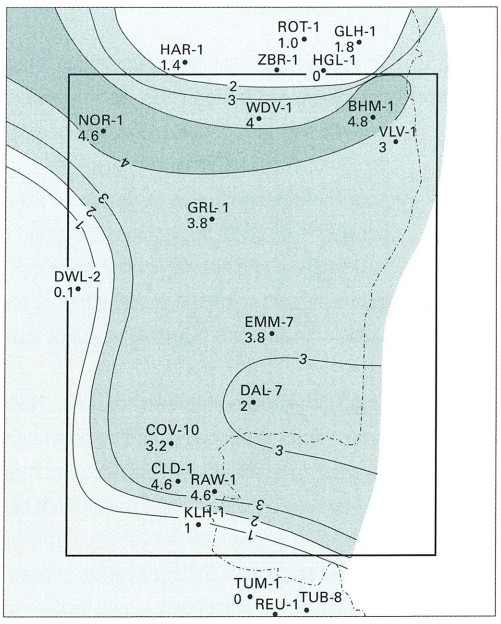
b. Koolwaterstofgeneratie Jura (10^9 m^3/km^2)



c. Koolwaterstofgeneratie Krijt (10^9 m^3/km^2)



d. Koolwaterstofgeneratie Kenozoicum (10^9 m^3/km^2)



Figuur 14.7 a. Contourkaart van de mate van inkoling aan het Carboon-oppervlak. Deze kaart is gebaseerd op de getoonde boringen. Het inkolingsbeeld in het aangrenzende Duitse gebied is afkomstig uit Koch et al. (1997).
b. Contourkaart van de koolwaterstofgeneratie gedurende de Jura (in 10^9m^3/km^2). De voornaamste generatie vond plaats in het Nedersaksisch Bekken; op de omringende hogen was de generatie duidelijk geringer.
c. Contourkaart van de koolwaterstofgeneratie tijdens het Krijt (in 10^9m^3/km^2). De grootste generatie vond plaats in het Nedersaksisch Bekken.
d. Contourkaart van de koolwaterstofgeneratie tijdens het Kenozoicum (in 10^9m^3/km^2). De grootste generatie vond plaats in de Lauwerszee Trog en ten zuiden van het Groningen Hoog.

De eerste inkolingsfase vond in beide boringen al aan het eind van het Carboon plaats. De hoeveelheid gegenereerde koolwaterstoffen was echter te gering om tot expulsie van koolwaterstoffen te leiden. De opheffing tijdens het Vroeg-Perm leidde tot beëindiging van koolwaterstofgeneratie. De tweede inkolingsfase en daarmee koolwaterstof generatie-fase vond plaats tijdens het interval Trias-Jura. Tijdens de Vroeg-Jura vond de voornaamste generatie plaats aan de westrand van het Eems Diep. Met de daling van het Nedersaksisch Bekken tijdens de Laat-Jura nam de hoeveelheid gegenereerde koolwaterstoffen in dit gebied toe (fig. 14.7b). De hoeveelheid gegenereerde koolwaterstoffen leidde echter tot expulsie. Op het Friesland Platform was de koolwaterstofgeneratie gering.

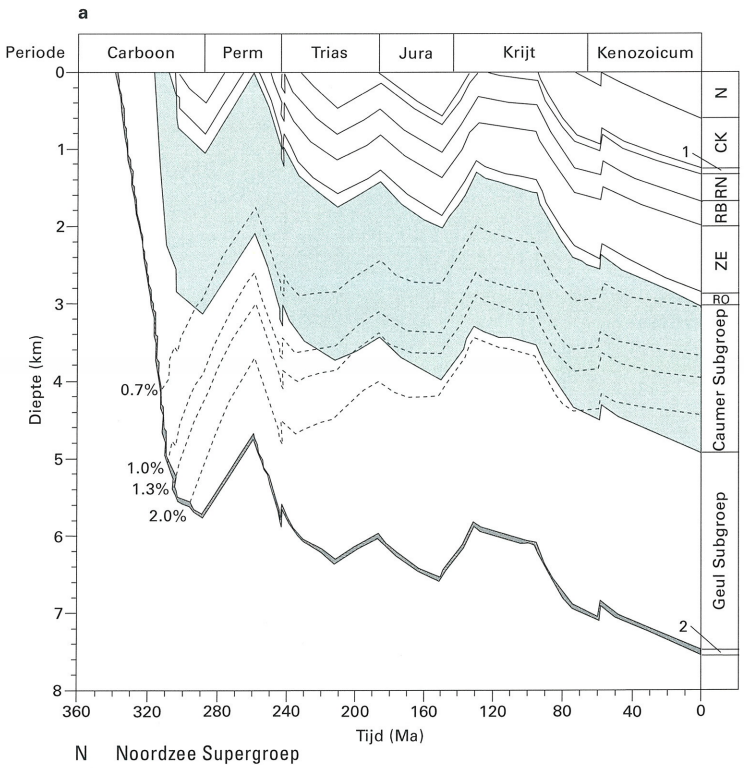
Tijdens het Krijt daalde het Nedersaksisch Bekken sterk. De contourkaart van de gasgeneratie tijdens het Krijt toont de hoogste generatie in dit gebied (fig. 14.7c). Naar de randen toe neemt de gasgeneratie af. Met de aan de inversiebewegingen gerelateerde opheffing aan het eind van het Krijt nam de gasgeneratie in het gebied af. In boring Dalen-7 werden tijdens het Tertiair geringe hoeveelheden gas gegenereerd (fig. 14.9). Tijdens het Tertiair vond in het kaartbladgebied weer sterkere daling plaats die tot verdere inkoling van het organisch materiaal leidde. De gegenereerde hoeveelheden waren lager dan tijdens Jura en Krijt.

De verdeling van de aangetroffen gasvelden in het gebied laat zien dat deze in of nabij het gebied liggen waar tijdens het Tertiair de grootste generatie optrad (fig. 2.2a-d). Voor de afsluiting van de reservoirs is de aanwezigheid van steenzout van belang geweest. Steenzout komt in vrijwel het gehele gebied voor, met uitzondering van het zuidwesten (fig. 7.3b-d). Op enkele plaatsen is gas door het zout heen gemigreerd via breuken, zo kon het in boven het Zechstein gelegen reservoirs accumuleren (fig. 2.2d).

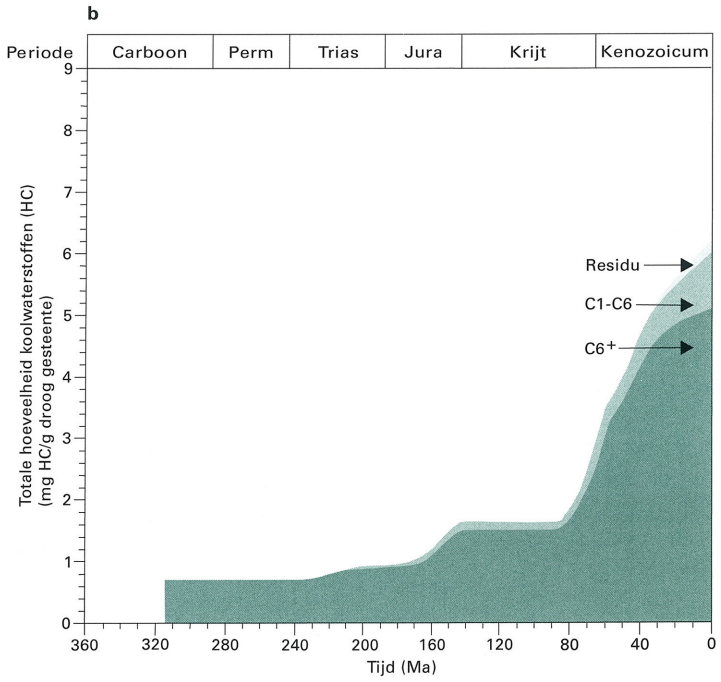
Ten aanzien van de olievoorkomens in dit gebied wordt aangenomen dat gesteentes uit de Z2 Carbonaat, de Posidonia Schalie Formatie en de Coevorden Formatie als moedergesteentes fungeerden. In de Coevorden Formatie komt alleen in de Boven-Coevorden een bitumineuze facies voor. Onderzoek van Binot et al. (1991) heeft aangetoond dat olievelden in het Nedersaksisch Bekken in Duitsland alleen door koolwaterstoffen uit de Posidonia Schalie Formatie en/of de Coevorden Formatie gevuld zijn. Voor het westelijke gedeelte nemen zij op grond van biomarker-patronen en de verbreiding van het moedergesteente aan dat voornamelijk de Coevorden Formatie als moedergesteente voor olie heeft gefungeerd. In sommige olievelden is vermenging van oliën uit de Posidonia Schalie Formatie en de Coevorden Formatie opgetreden (Binot et al., 1991).

Organisch-geochemische analyses aan Nederlandse oliën uit het kaartbladgebied laten geen eenduidige toekenning aan het een of andere bovengenoemde moedergesteente toe, omdat weinig monstermateriaal uit deze formaties ter beschikking stond. Een vergelijking van Steraanpatronen met in de literatuur beschreven patronen (Binot et al., 1991) sluit een menging van oliën uit de Posidonia Schalie Formatie en de Coevorden Formatie niet uit. Steraan en Hopaan-verdeling wijzen erop dat de gegenereerde oliën in het zuidelijke gedeelte van het kaartbladgebied (Schoonebeek) vroegrijp zijn. Volgens de modelleringen zijn de gesteenten uit de Altena en Coevorden Groep in dit gebied onrijp. Een verklaring kan zijn dat de boringen op structurele hogen geplaatst zijn en dat het moedergesteente in diepere gedeeltes zich wel in het olievenster bevindt. Ondanks het feit dat gesteenten van de Limburg Groep rijp zijn voor de vorming van olie, wordt het niet waarschijnlijk geacht dat deze als moedergesteente gefungeerd hebben. De oliën uit het noordelijke gedeelte (Stadskanaal, Gieterveen) vertonen een samenstelling die op een rijpe olie wijst. Hierdoor zijn potentiële mogelijkheden voor olieaccumulaties uit gesteenten uit de Zechstein Groep (Z2 Carbonaat) of de Limburg Groep aanwezig. Er stond geen monstermateriaal uit de Zechstein Groep ter beschikking, daarom kan de aanname niet door geochemische oil-source rock correlatie bevestigd worden.

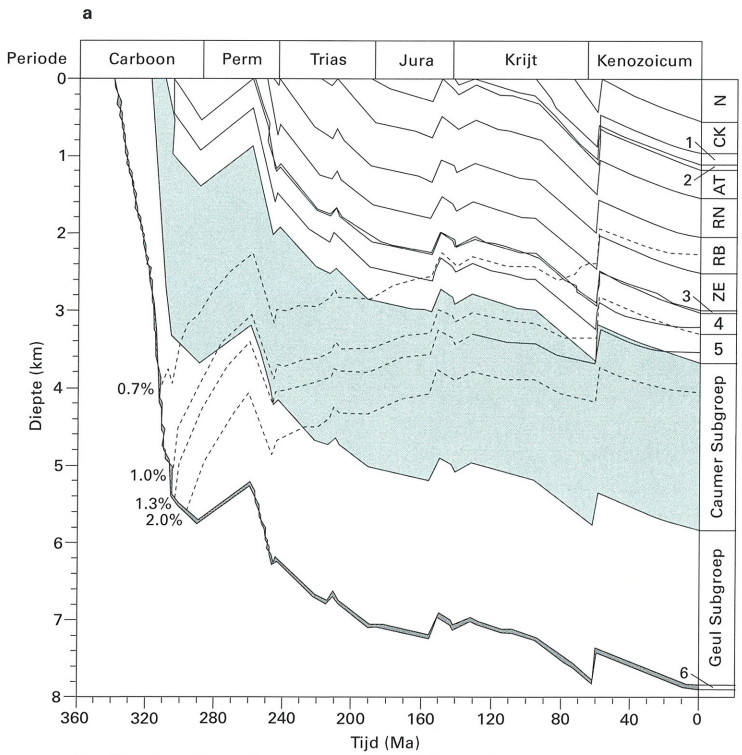
Figuur 14.8 a. Begravingsdiagram van de boring Annerveen-Wildervank-1 op de zuidrand van het Groningen Hoog. De gestippelde lijnen geven de inkoling (%Rr) aan. Gasgeneratie vond plaats uit de koollagen van de Caumer Subgroep die zich in het gasvenster bevinden (%Rr van 0.8 tot 2.0).
b. Koolwaterstofgeneratie als functie van de tijd in de boring Annerveen-Wildervank-1.
De gasgeneratie vond vooral plaats tijdens het Krijt en het Kenozoicum.



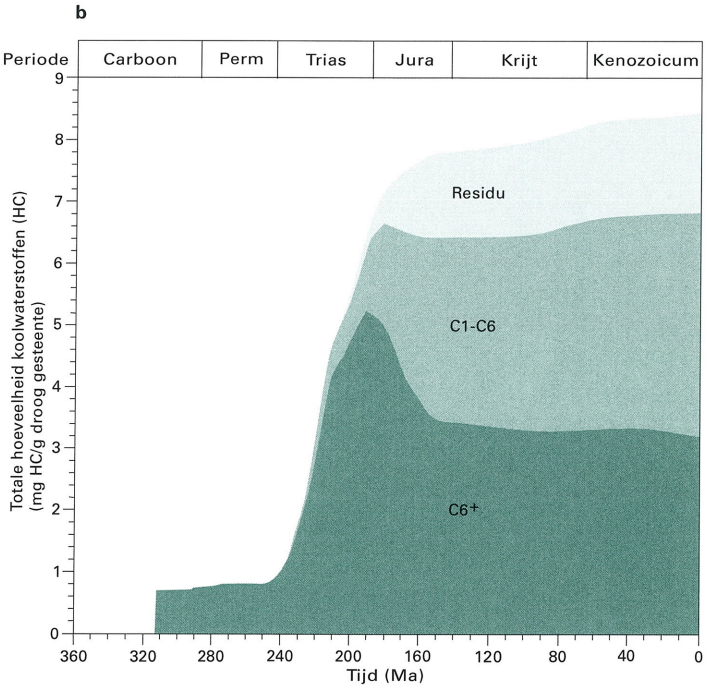
N Noordzee Supergroep
CK Krijtkalk Groep
1 Rijnland Groep
RN Boven-Germaanse Trias Groep
RB Onder-Germaanse Trias Groep
ZE Zechstein Groep
RO Boven-Rotliegend Groep
2 Geverik Laagpakket



Figuur 14.9 a. Begravingsdiagram van de boring Dalen-7 in het zuidelijke deel van het Nedersaksisch Bekken. De gestippelde lijnen geven de inkoling (%Rr) aan. Gasgeneratie vond plaats uit de koollagen van de Caumer Subgroep die zich in het gasvenster bevinden (%Rr van 0.8 tot 2.0) b. Koolwaterstofgeneratie als functie van de tijd in de boring Dalen-7. De gasgeneratie vond hier reeds plaats vanaf de Trias.



N Noordzee Super Groep
CK Krijtkalk Groep
AT Altena Groep
RN Boven-Germaanse Trias Groep
RB Onder-Germaanse Trias Groep
ZE Zechstein Groep
1 Rijnland Groep
2 Nedersaksen Groep
3 Boven-Rotliegend Groep
4 De Lutte Formatie
5 Tubbergen Formatie
6 Geverik Laagpakket

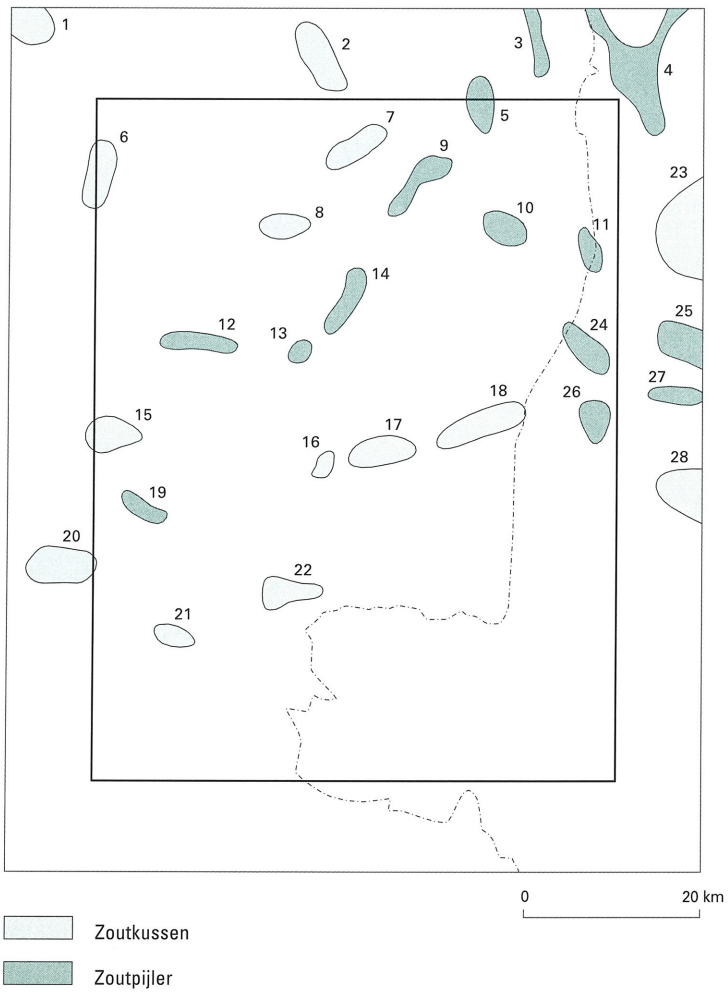


14.4 Zoutbeweging

14.4.1 Inleiding

In het kaartbladgebied hebben de plastische eigenschappen van het steenzout een grote invloed gehad op de structureel-geologische ontwikkeling. Enerzijds heeft zout een dempende werking op de geologische structuur, daar onder het zout aanwezige breuken door de plastische eigenschappen van het zoutpakket worden geaccommodeerd. Dit betekent dat het zout voor de ontkoppeling zorgt van de breuktektoniek onder en boven het zout (vergelijk het breukbeeld op de Kaarten 3, 6 en 8). Uit deze vergelijking blijkt dat niet alleen het Zechstein Zout een dergelijke ontkoppeling veroorzaakt, maar ook de zouten in de Trias.

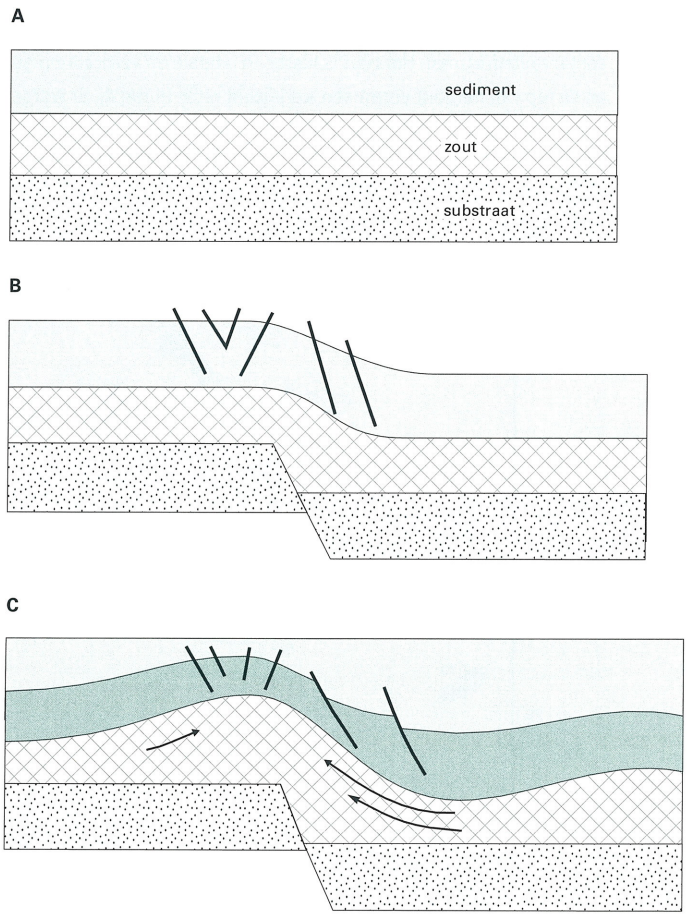
Anderzijds heeft het zout, door zijn plastische eigenschappen en het dichtheidsverschil tussen het lichte zout en het zwaardere afdekpakket, een actieve invloed gehad op de sedimentatie. In het kaartbladgebied is het zout, net als op veel andere plaatsen in het Zuidelijk Perm Bekken, geaccumuleerd in een aantal zoutstructuren. Het zout is hierbij in laterale en verticale zin gemigreerd in een aantal structuren en de top van het zout vormt een significant reliëf (Kaart 4). Er worden 28 zoutstructuren onderscheiden,



Figuur 14.10 Locatiekaart van de binnen het kaartbladgebied voorkomende zoutstructuren. Voor een overzicht van de namen en de karakteristieken van de structuren wordt verwezen naar tabel 14.1.

waarvan er een aantal op Duits grondgebied liggen (fig. 14.10, tabel 14.1). Er wordt hierbij een onderscheid gemaakt tussen zoutpijlers, waarbij het zout door het afdekpakket is heengebroken en door veel jongere afzettingen bedekt wordt en zoutkussens, waarbij het zout een kussenvormige verdikking vormt en het afdekpakket niet is doorbroken. Hiernaast wordt binnen het kaartbladgebied nog een speciaal type zoutstructuur onderscheiden, de zogenaamde zoutintrusie (paragraaf 14.4.3; fig. 14.12).

Zoutstructuren zijn van belang vanuit verschillende oogpunten. Enerzijds komt door zoutbeweging een delfstof op geringe diepte onder het oppervlakte te liggen, anderzijds wordt door de zoutbeweging de diepteligging en de dikte van sedimentpakketten beïnvloed. Waar zout wegvloeit ontstaat extra accommodatie-ruimte voor sedimentatie, waar zout naar toe vloeit vindt opheffing en erosie plaats. Zout heeft in deze zin ook een grote invloed op de stroming van vloeistoffen (water, olie) en gassen in een gebied.



Figuur 14.11 Schematisch model voor de ontwikkeling van zoutstructuren in relatie tot breukbewegingen in het substraat.
A: uitgangssituatie;
B: het ontstaan van de breuk in het substraat;
C: de reactie van het steenzout, dat op het hoge blok accumuleert.

Tabel 14.1 Overzicht van de zoutstructuren met hun karakteristieken

De nummering van de structuren verwijst naar figuur 14.10. Het type structuur betreft P: zoutpijler of K: zoutkussen. De dikte van de caprock is afgeleid uit boringen. Gegevens van Duitse structuren zijn afgeleid uit Jaritz (1973). Diepte in m onder NAP, dikte in m.

No.	Naam	Type	Diepte	Caprock	Afdekkend pakket
1.	Gerkesklooster	K	950		Trias
2.	Hoogezand	K	950		Trias
3.	Klein-Ulsda	P	900	ja	Boven-Krijt
4.	Bunde	P	150	ja	Tertiair
5.	Winschoten	P	400	20	Krijt/Tertiair
6.	Norg	K	1400		Trias
7.	Veendam	K	1200		Trias
8.	Anloo	K	400		Trias
9.	Zuidwending	P	110	40-50	Tertiair
10.	Onstwedde	P	250	ja	Tertiair
11.	Boertange	P	550	ja	Boven-Krijt
12.	Hooghalen	P	250	ja	Tertiair
13.	Schoonlo	P	120	80	Tertiair
14.	Gasselte-Drouwen	P	350	ja	Tertiair
15.	Dwingelo	K	1300		Trias
16.	Gees	K	1700		Trias
17.	Emmen West	K	2380		Trias
18.	Emmen Oost	K	2700		Trias
19.	Hoogeveen	P	900	ja	Jura
20.	De Wijk	K	1400		Trias
21.	Dedemsvaart	K	1500		Trias
22.	Coevorden	K	1900		Trias
23.	Wildes Moor	K	2200		Trias
24.	Neusustrum	P	300	100	Onder-Krijt
25.	Wahn	P	300	ja	Boven-Jura
26.	Oberlanger Tenge	P	200	30	Tertiair
27.	Lathen	P	200	ja	Tertiair
28.	Apeldorn	K	2900		Trias

Over het ontstaan van zoutstructuren zijn vele publicaties verschenen. Vroeger werd verondersteld dat alleen het dichtheidscontrast tussen het lichte zout (2,2 gr/cm^3) en het zware afdekpakket (2,5 gr/cm^3) voldoende was om zoutstructuren te doen ontstaan (Trusheim, 1963). Tegenwoordig echter wordt een interactie van tektonische spanningen en het dichtheidscontrast aangenomen om het ontstaan van zoutstructuren te verklaren, waarbij vooral de tektonische spanning bepaalt of een structuur een kussen of een pijler is geworden (Koyi et al., 1993; Remmelts, 1995; Rijks Geologische Dienst, 1993b). Aanwijzingen hiervoor worden indirect gegeven door het feit dat zoutstructuren aan belangrijke structurele trends gerelateerd zijn en in directe zin door het karteren van deze breuken op 3D seismiek (vergelijk fig. 14.10 en Kaart 3).

In het kaartbladgebied is er een sterke relatie tussen de breukbewegingen en de zoutstructuren. Het merendeel van de zoutstructuren is ongeveer O-W of NO-ZW georiënteerd; een vergelijking tussen de kaart van de top van de Zechstein Groep met die van de basis van deze groep (Kaarten 3 & 4) geeft aan dat het grootste deel van de zoutstructuren door breuken geïnduceerd lijkt te zijn.

14.,4.2 Groepen en individuele zoutstructuren

De meest in het oog springende structuren in het kaartbladgebied worden gevormd door een aantal culminaties met eenzelfde geografische oriëntatie. Er kan een onderscheid worden gemaakt tussen ongeveer O-W gerichte structuren (Hooghalen, Gees-Emmen), NO-ZW gerichte structuren (Gasselte-Drouwen, Zuidwending, Veendam) en NNW-ZZO gerichte structuren (Klein-Ulsda, Bunde). Hiernaast zijn er een aantal individuele, min of meer cirkelvormige structuren (Schoonlo, Onstwedde, Boertange). Cirkelvormige structuren lijken aan interferentie van breuktrends gerelateerd te zijn (Remmelts, 1995, Rijks Geologische Dienst, 1995). In de structuur Zuidwending is een interferentie van twee verschillende trends te zien in de richtingsverandering van ZW-NO naar O-W.

De zoutbeweging wordt met behulp van de opvulling van de randsynclines gedateerd. In het Nedersaksisch Bekken is dit in het algemeen geen probleem, maar aan de randen van dit bekken komen grote hiaten in de gesteente-opeenvolging voor en kan het tijdstip van zoutbeweging niet eenduidig worden vastgesteld. Dit geldt met name voor de structuren Hoogezand, Anloo, Dwingelo en De Wijk. Van deze zoutkussens kan slechts in algemene termen worden aangegeven dat zij reeds voor het Krijt in aanleg aanwezig waren.

De vroegste zoutbeweging deed zich voor in het oostelijke deel van het kaartbladgebied, gerelateerd aan breukbewegingen in het Eems Diep tijdens de Hardegsen Fase. Hierdoor vormden zich de structuren Klein-Ulsda, Onstwedde en Boertange in eerste aanleg als een zoutkussen tijdens de Vroeg-Trias. Ook voor een aantal Duitse structuren wordt dit waargenomen (Jaritz, 1973). De structuren Gasselte-Drouwen, Klein-Ulsda en Hoogeveen ontwikkelden zich nog tijdens de Trias tot zoutdiapieren. Diapirisme trad hier tijdens het Ladinien tot Carnien op. Dit geldt ook voor de in Duitsland gelegen structuren Neusustrum, Oberlanger Tenge en Wahn (Jaritz, 1973). Het diapirisme is gerelateerd aan de Laat-Trias daling van het Eems Diep (fig. 8.4c). Tijdens de Laat-Trias breidde het aantal zoutkussens zich verder uit met Hooghalen, Schoonlo en vermoedelijk de structuren op de rand van het Groningen Hoog (Gerkesklooster, Zuidwending, Winschoten, Hoogezand).

Tijdens de Vroeg-Jura breidde het aantal actieve zoutdiapieren zich verder uit met Onstwedde en Boertange en Schoonlo, terwijl ook Gasselte-Drouwen en Klein-Ulsda als diapier actief bleven. De activiteit van de diapier Hoogeveen nam sterk af en op deze diapier werd tijdens de Vroeg-Jura sediment afgezet. Vermoed wordt dat ook de zoutkussens Hooghalen, Hoogezand, Anloo, Dwingelo, Norg, De Wijk en Dedemsvaart in de Jura zijn gevormd. Tijdens de Laat-Jura waren met name structuren in het Nedersaksisch Bekken actief; diapirisme trad op bij Klein-Ulsda, Onstwedde, Gasselte-Drouwen en Boertange en bij een aantal Duitse structuren (Jaritz, 1973).

In relatie met de Laat-Kimmerische fase vond tijdens het Vroeg-Krijt sterke opheffing plaats van het Groningen Hoog en het Friesland Platform. Deze structurele eenheden zijn deels breukbegrensd en langs de breuken trad zoutbeweging op. Boven de zoutstructuren trad sterke erosie op; de structuren Schoonlo, Hooghalen, Gasselte-Drouwen, Onstwedde en Boertange kwamen vermoedelijk aan het oppervlak te liggen. Andere structuren kwamen dicht onder het oppervlak te liggen en door de erosie werd de sterkte van het afdekpakket aangetast. Dit geldt voor een groot aantal zoutkussens. De omvorming van het structurele raamwerk leidde tot een verandering van het patroon van zoutbeweging.

De zoutstructuren tijdens het Krijt en Tertiair waren voornamelijk gerelateerd aan het Hantum–Holsloot–Dalen–Reutum breuksysteem (fig. 3.1; Kaart 16); de zoutstructuren vormden hierbij een belangrijk onderdeel van dit systeem (vergelijk Kaarten 4 & 16). De structuren zijn vooral van belang als O-W componenten van dit breuksysteem en ook een deel van de NNO richting lijkt hierlangs te zijn geaccommodeerd. De N-Z breuken laten minder zoutbeweging zien.

Tijdens het Vroeg-Krijt vond slechts op beperkte schaal zoutbeweging plaats. Secundaire randsynclines, indicatief voor diapirisme, zijn waargenomen naast de structuren Gasselte-Drouwen, Onstwedde en Zuidwending. Tijdens het Laat-Krijt vond op uitgebreidere schaal zoutbeweging plaats, vooral tijdens het tijdsinterval Coniacien-Campanien. Dit wijst op een relatie met de tektonische activiteit tijdens de Subhercynische inversiefase. Een groot aantal zoutpijlers toont sterke activiteit, zoals Anloo, Winschoten, Zuidwending, Hooghalen, Schoonlo, Gasselte-Drouwen en Boertange. Een aantal structuren werd tijdens het Laat-Krijt door sediment bedekt, dit geldt onder meer voor Boertange.

Tijdens het Paleoceen-Eoceen waren de structuren Anloo, Zuidwending, Hooghalen, Schoonlo en Gasselte-Drouwen nog zeer actief. Uit de diktewisselingen van de pakketten blijkt dat vooral tijdens het Laat-Eoceen-Oligoceen van sterke activiteit sprake was, gerelateerd aan de Pyreneïsche fase. Bij veel zoutstructuren blijkt dat ten opzichte van het Laat-Krijt een ommekeer in het dalingspatroon opgetreden is. Bij de structuur Zuidwending concentreert de stijging zich vooral in het noordelijke deel van de structuur; in het zuidelijke deel bedekken de Paleoceen sedimenten reeds de caprock. Na het Oligoceen is er sprake van een duidelijke afname van de activiteit van de zoutstructuren; met uitzondering van het zoutkussen Anloo werden alle zoutstructuren in het gebied door Laat-Miocene afzettingen bedekt. Er is na het Mioceen nog slechts van nabeweging sprake, waarbij de sterkste bewegingen optraden bij Zuidwending, Gasselte-Drouwen, Onstwedde, Schoonlo en Hooghalen (Kaart 17).

De structuur Anloo is een voorbeeld van een typisch niet-diapiere structuur die toch ondiep onder de oppervlakte ligt. Erosie voorafgaande aan het Krijt is ingesneden tot in de Röt Formatie. Tijdens het Krijt en Tertiair heeft zich in het afdekpakket boven het zoutkussen een listrische breuk gevormd, waarbij het zuidelijke deel van het afdekpakket afgeschoven is. Het afdekpakket is door het zout passief omhoog gestuwd. In de boring Anloo-1 werd onder Kwartaire afzettingen slechts het oudste deel van de Krijtkalk Groep aangetroffen. Hieronder bevonden zich respectievelijk nog de Rijnland en de Onder-Germaanse Trias Groep. Naar de interne opbouw van het zoutkussen is een speciale studie uitgevoerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de op de boorgatmetingen waar te nemen cycli van het Z2 Zout (Geluk, 1995). Het zoutkussen is intern opgebouwd uit een aantal liggende vloeiplooien met normaal en overkiept liggende delen van het Z2 Zout. In het bovenste deel van het zoutkussen bevindt zich een normaal stratigrafisch contact met de Onder-Germaanse Trias Groep.

De structuur Zuidwending is een zoutpijler in het noordelijke deel van het gebied. Het steenzout hier wordt door middel van oplossingsmijnbouw door Akzo Nobel Salt b.v. gewonnen. In deze structuur die zich door een noordelijke en een zuidelijke culminatie kenmerkt, zijn elf boringen uitgevoerd. In een deel van deze boringen zijn kernen uit het Zechstein Zout getrokken. Deze tonen een zeer steil staand (70-90°) gesteente van de Z2 (Stassfurt) Formatie in het centrale deel van de noordelijke culminatie van de zoutpijler Zuidwending (Harsveldt, 1980). Slechts aan de uiterste randen van de zoutpijler treden ook gesteenten van de Z3 (Leine) Formatie op. De Hoofdanhydriet is in deze zoutpijler niet in boringen aangetroffen, maar wordt wel in de structuur aanwezig geacht.

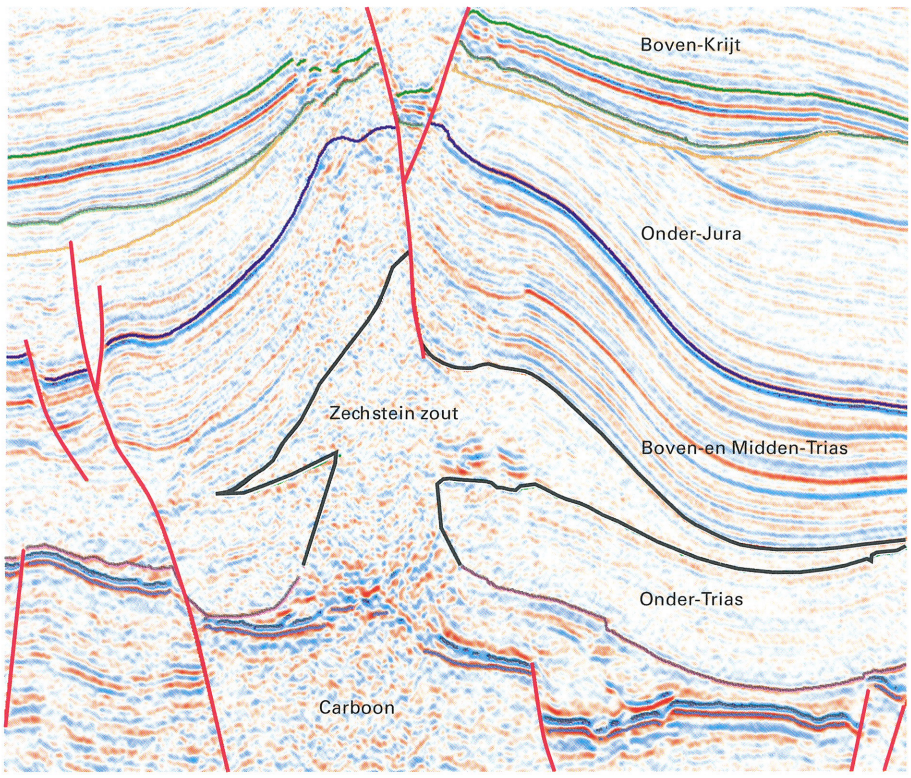
In het zoutkussen Veendam zijn dikke magnesium zoutlagen aangeboord in het Z3 Zout nabij de top van het kussen (Coelewij et al., 1978). Deze magnesiumzouten worden gewonnen door NedMag Industries.

In een groot aantal zoutkussens in het gebied worden eveneens verdikte Kalium-Magnesium zoutlagen vermoed in de Z3 (Leine) Formatie.

14.4.3 Zoutintrusie

Naast traditionele zoutstructuren in de zin van zoutkussens en –pijlers komen in het kaartbladgebied ook nog zoutintrusies *(salt wedges)* voor. Dit type structuren werd beschreven uit het aangrenzende deel van Duitsland door Baldschuhn et al. (1998). Zoutintrusies onderscheiden zich van andere zoutstructuren doordat het zout hierbij lateraal is geïntrudeerd in Trias zoutlagen. In het kaartbladgebied zijn dergelijke structuren aangetroffen in het oostelijke deel van het kaartbladgebied. Diagnostische seismische criteria voor dergelijke structuren zijn vooral het optreden van divergerende reflectoren onder en boven de zoutintrusie (fig. 14.12)

Het Zechstein zout is hier lateraal in de laag van het Röt zout ingedrongen, waardoor een paddestoel-achtige structuur is ontstaan. De genese van deze structuren, die ook wel als *squeezed salt dome* worden beschreven, is een interactie van extensie- en compressie-tektoniek. Tijdens de extensiefasen (Trias-Jura) werd door breukbewegingen in het basement de zoutbeweging in gang gezet en vulde het zout de ruimte op die in de breukzone aanwezig was. De compressie tijdens het Coniacien-Campanien gedurende de Subhercynische fase vervormde de structuur, waarbij het zout lateraal in de Trias werd geperst.



Figuur 14.12 Voorbeeld van een zoutintrusie. Het Zechstein Zout is op deze locatie in de laag van het Röt ingedrongen. De sterke verdikking van de Midden- en Boven-Trias ter weerszijden van de breuk boven het Zechstein Zout is indicatief voor het feit dat dit toen een belangrijke afschuivingsbreuk was.

15 Toegepaste geologie en ruimtelijke ordening

15.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de toepassingen die de diepe ondergrond van het kaartbladgebied biedt, anders dan de mogelijkheden waarvoor deze reeds wordt benut. Voor de winning van gas, olie of zout zijn concessies afgegeven (zie Hoofdstuk 2), ook wordt er reeds gas opgeslagen, zowel in Nederland als vlak over de grens in Duitsland. We beperken ons in deze beschouwing tot technieken die reeds elders worden toegepast. Toepassingen die in het ondiepe deel van de ondergrond worden uitgevoerd (ondergronds bouwen, ondiepe delfstofwinning, opslag van koude/warmte) worden hier niet besproken.

In een bij het NITG (1997b) uitgevoerde studie worden de volgende ondergrondse toepassingen onderkend:
- winning van aardwarmte
- winning van thermaal water
- gasopslag
- CO_2-opslag
- opslag van hoog-toxisch afval

In onderstaande paragrafen wordt hierop verder ingegaan.

15.1.1 Winning van aardwarmte

De winning van aardwarmte wordt in Nederland reeds langer als een mogelijke toepassing gezien, alhoewel het onderwerp zich vooralsnog tot bureau-studies beperkt. De randvoorwaarden bij aardwarmtewinning zijn een aquifer die water met een verhoogde temperatuur bevat waaruit een grote hoeveelheid water (bijvoorbeeld > 5000 m^3/dag) geproduceerd kan worden. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen diepe en ondiepe geothermie; bij diepe geothermie dient de temperatuur van het formatiewater meer dan circa 75° C te bedragen, terwijl bij de ondiepe variant formatiewater tussen de 12 en 45° C gewonnen wordt. Daar de temperatuur ongeveer lineair met de diepte toeneemt, kan gesteld worden dat diepe geothermie op dieptes groter dan 1200 m kan worden gerealiseerd.

De winning van aardwarmte stelt hoge eisen aan de porositeit en doorlatendheid van de aquifer. Deze vormen tevens de grootste risicofactor. Bij een nadere beschouwing van de potentiële aquifers in het gebied, vaak tevens de reservoirgesteenten voor olie of gas, valt het merendeel hiervan af omdat de vereiste wateropbrengst niet kan worden gerealiseerd door een te geringe transmissiviteit (het product van dikte en doorlatendheid). Dit geldt voor de zandstenen in de Limburg Groep en de carbonaten van de Zechstein Groep.

Voor de diepe geothermie worden mogelijkheden gezien in de Boven-Rotliegend Groep in het noordwesten van het kaartbladgebied, de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep en de Rijnland Groep in het Eems Diep. De energie-inhoud van deze aquifers wordt in Tabel 15.1 getoond. Deze waarden zijn afgeleid uit Haenel & Staroste (1988) en NITG (1997a).

Tabel 15.1 Warmte-inhoud van een aantal aquifers in het kaartbladgebied.

Aquifer	*Warmte-inhoud*
Bentheim Zandsteen	$0{,}4 * 10^{18}$ J
Hoofd-Bontzandsteen/Solling	$3 * 10^{18}$ J
Boven-Rotliegend Groep	$5 * 10^{18}$ J

Voor de ondiepe geothermie worden mogelijkheden gezien in de Rijnland Groep in het uiterste zuidoosten en in het Zand van Brussel in het noorden en westen van het kaartbladgebied.

15.1.2 Winning van thermaal water

De winning van thermaal water stelt vooral eisen aan de chemische samenstelling en temperatuur van het aanwezige formatiewater. Het is voor een toekomstig bronnenbad van belang te voldoen aan de Duitse eisen ten aanzien van medicinaal water. Deze staan in tabel 15.2 geformuleerd. Over het algemeen geldt dat het water op een diepte groter dan enkele honderden meters aan deze eisen zal voldoen. Daarnaast dient de beoogde aquifer enkele tientallen m^3/dag op te brengen. In principe zijn er vele mogelijke aquifers aanwezig waaruit thermaal water gepompt kan worden; de voornaamste randvoorwaarden zullen worden gevormd door de investeringen die voor de ontwikkeling van een thermale bron zijn gereserveerd. Daar de boorkosten met de diepte sterk stijgen, zal men een zo ondiep mogelijke aquifer proberen te vinden. Winning van thermaal water wordt ten noorden van het kaartbladgebied toegepast in het bronnenbad Nieuweschans. Hier wordt warm, zout water uit de Mergel van Brussel opgepompt van een diepte van circa 550 m.

Tabel 15.2 Eisen voor medicinaal water *(Heilwasser)* volgens het Duitse Bäderverband (30/6/1979)

Tussen haakjes staan enkele predicaten die gevoerd mogen worden wanneer wordt voldaan aan de betreffende specificatie. Ter vergelijking in de laatste kolom de samenstelling van het water in de boring Nieuweschans in Groningen (Glasbergen, 1982).

	Minumumwaarde		*Boring Nieuweschans*
Temperatuur	18° C	(Thermal)	?
Totaal opgeloste bestanddelen	1000 mg/l		?
Natrium	8500 mg/l	(Sole)	45000 mg/l
IJzer	20 mg/l		56 mg/l
Zwavel	1 mg/l	(Zwavel)	
Fluoride	1 mg/l		
Iodide	1 mg/l		2,5 mg/l
Kooldioxide	1000 mg/l		109 mg/l

In principe geldt dat in het grootste deel van het gebied mogelijkheden voor thermaal-medicinaal waterwinning te vinden zijn. Uitzondering hierop vormen locaties direct boven zoutpijlers (Kaart 4). De diepte waarop een geschikte aquifer voorkomt verschilt per locatie. Daar de randvoorwaarden per project sterk kunnen verschillen, dient de geschiktheid ervan per locatie nader te worden onderzocht. Hier is het slechts mogelijk een opsomming van de potentieel geschikte aquifers te geven:

- Mergel van Brussel
- Gildehaus Zandsteen
- Bentheim Zandsteen
- Basale Solling Zandsteen
- Onder-Detfurth Zandsteen
- Onder-Volpriehausen Zandsteen

Het water zal in de meeste gevallen als *Thermal Sole* geclassificeerd kunnen worden, zeker het water dat zich in de diepere ondergrond (>400 m) in de onmiddellijke omgeving van zoutpijlers bevindt.

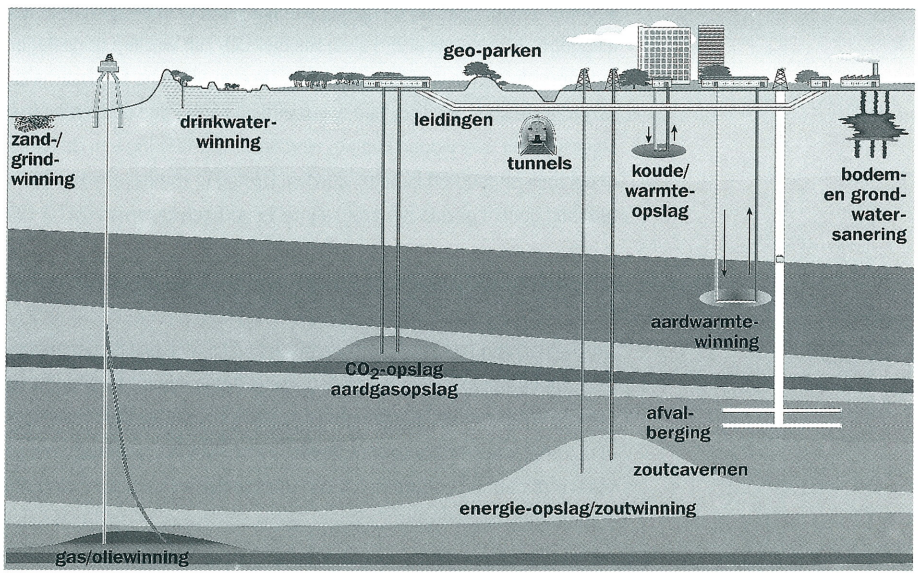
15.1.3 Ondergrondse gasopslag

Bij gasopslag wordt een onderscheid gemaakt tussen de opslag van aardgas in aquifers of reservoirs waar het om volumina van enkele honderden 10^6 Sm^3 of meer gaat en opslag in zoutcavernes, waarbij kleinere volumina worden opgeslagen. Opslag in reservoirs of aquifers dient om seizoen-fluctuaties op te vangen, terwijl opslag in zoutcavernes dient om kortdurende fluctuaties in gaslevering te ondervangen *(peak shaver)* of als strategische reserve.

15.1.3.1 Aquifer of reservoir

In het kaartbladgebied bevindt zich een van de gasopslag-projecten (of Underground Gas Storage, UGS) in Nederland. Sinds 1997 wordt er aardgas opgeslagen in het gasveld Norg. Dit gasveld, met de Slochteren Formatie als reservoirgesteente, was reeds voor de helft leeggeproduceerd. Het Norg veld is de grootste UGS in Nederland, met een inhoud van $4.6*10^9$ Sm^3. De UGS wordt bedreven met 6 boringen en de maximale dagelijkse productie is $80*10^6$ Sm^3. Er bevinden zich ook twee UGS-faciliteiten in het aangrenzende deel van Duitsland, in respectievelijk een aquifer en een voormalig gasveld, Kalle ($0,6*10^9$ Sm^3) en Uelsen ($0,9*10^9$ Sm^3). Beide UGS-faciliteiten zijn in de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep gesitueerd (NLfB, 1999).

Naast deze gerealiseerde UGS projecten worden er binnen het kaartbladgebied meerdere mogelijkheden gezien. Enerzijds zijn dit bestaande gasvelden of aquifers, waarbij de geschiktheid vooral zal afhangen van economische factoren zoals het totale opslagvolume, werkgasvolume en de productiviteit. In principe is het merendeel van de gasvoerende eenheden in het kaartblad geschikt. Vanwege de gunstige permeabiliteit en het ondiepe voorkomen genieten de Slochteren Zandsteen, de zandstenen in de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep, Basale Solling Zandsteen en de Onder-Krijt zanden de voorkeur.



Figuur 15.1 Schematisch overzicht van de toepassingen in de ondergrond.

Een nadere selectie geschiedt op grond van economische, logistieke en planologische factoren, die door de potentiële klanten worden vastgesteld.

15.1.3.2 Zoutcavernes

Naast reservoirs of aquifers is ook gasopslag in zoutcavernes een optie in het kaartbladgebied. Dit type opslag is in principe gericht op een korte, hooguit enkele dagen durende, piekvraag naar aardgas. In verband met het drukregime en de kruip van het steenzout dient de opslag te worden uitgevoerd in een dieptebereik tussen circa 500 en 1800 m. De beste mogelijkheden voor deze opslag bevinden zich in het Zechstein zout, speciaal in zoutpijlers.

Voor dit type opslag komen de volgende zoutpijlers in aanmerking: Anloo, Zuidwending, Winschoten, Onstwedde, Gasselte-Drouwen, Hooghalen, Schoonlo en Boertange (fig. 14.10; tabel 14.1). Daar de cavernes uitgeloogd worden, zou de realisatie van deze vorm van gasopslag met zoutwinning kunnen worden gecombineerd. Het zou ook los hiervan kunnen worden gerealiseerd, waarbij de verdunde pekel bijvoorbeeld in zee zou kunnen worden geloosd. Dit is onder meer in Denemarken gedaan tijdens de aanleg van cavernes (Quast, 1986). Naast economische aspecten spelen hierbij ook wettelijke milieu-technische voorschriften een belangrijke rol.

15.1.4 Ondergrondse CO_2-opslag

Reductie van de uitstoot van CO_2 staat wereldwijd volop in de belangstelling. Dit gas wordt als een van de belangrijkste broeikasgassen beschouwd die mede de opwarming van de aarde tot gevolg kunnen hebben. Een van de mogelijke oplossingen voor de reductie van de CO_2-uitstoot is de opslag ervan in aquifers of verlaten gasvelden. Opslag in gedepleteerde gasvelden (fig. 2.2) zou een oplossing zijn om mogelijke bodemdaling tegen te gaan. CO_2 kan tevens worden gebruikt ter bevordering van de oliewinning. De mogelijkheden van daadwerkelijke CO_2-opslag in de diepe ondergrond vormen nog steeds onderwerp van studie.

Ook voor het kaartbladgebied geldt dat CO_2 opgeslagen kan worden in gedepleteerde gasvelden of aquifers. Anders dan bij de opslag van gas geldt dat het gasveld in het ideale geval geheel leeggeproduceerd moet zijn alvorens hier CO_2 kan worden opgeslagen; anders dient een oplossing voor mengproblemen te worden gevonden. De economische haalbaarheid van gaswinning met gelijktijdige CO_2-injectie staat ter discussie. Injectie in de aanwezige olievelden in het kaartbladgebied zou in algemene zin overwogen kunnen worden ter stimulering van de olieproductie. Hiernaar zou specifiek onderzoek uitgevoerd kunnen worden. Opslag in zoutcavernes is eveneens mogelijk, maar wordt minder geschikt geacht gezien het grote aantal benodigde cavernes (NITG 1997b).

15.1.5 Ondergrondse opslag van hoog-toxisch afval

De hoeveelheid radioactief en chemisch afval die de laatste decennia wordt geproduceerd vormt een serieuze bedreiging voor het milieu. Het isoleren van dit afval door opslag in de ondergrond vormt hiervoor wellicht een goede oplossing die het onderzoeken waard is. De terugneembaarheid van het afval moet wel worden gegarandeerd. Te denken valt aan opslag in een conventionele mijn die lange tijd wordt bedreven. Binnen het kaartbladgebied komen twee formaties voor verder onderzoek in aanmerking, namelijk het Z2 Zout (Zechstein Groep) en de Rupel Klei (Formatie van Rupel).

Zoutpijlers van de Zechstein Groep komen op verschillende locaties voor (fig. 14.10). Er vanuit gaande

dat mijnbouw in ongeconsolideerde sedimenten tot een diepte van circa 500-600 m kan worden gerealiseerd, komen wat betreft dit aspect de zoutstructuren Anloo, Hooghalen, Schoonlo, Gasselte-Drouwen, Zuidwending, Winschoten, Onstwedde en Boertange in aanmerking. Anloo lijkt wat betreft de interne opbouw van de structuur het meest op een zoutkussen en het Z2 Zout komt pas dieper dan 1175 m voor (Geluk, 1995). De overige structuren zijn zoutpijlers, waarvan de diepteligging van de top varieert van 120 m (Zuidwending) tot 650 m (Boertange). Voor zover informatie uit boringen voorhanden is, blijken de structuren meestal te zijn opgebouwd uit het Z2 Zout. Vanuit het oogpunt van het garanderen van de toekomstige veiligheid genieten dieper gelegen structuren de voorkeur.

De Rupel Klei komt slechts in de noordelijke en westelijke helft van het kaartbladgebied voor (fig. 13.4) op een diepte tussen de 250 en 400 m. De dikte van de eenheid bedraagt maximaal ruim 100 m.

15.1.6 Zoutwinning

Voor zoutwinning zijn twee concessies afgegeven in het noordelijke deel van het gebied (fig. 2.1). Buiten deze concessiegebieden komen ook elders potentieel winbare zoutafzettingen voor. Steenzoutwinning kan in principe in alle ondiepe zoutpijlers uitgevoerd worden, terwijl in een groot aantal diepere zoutkussens Kalium-Magnesium zoutlagen voorkomen, analoog aan de situatie bij Veendam. Dit betreft voornamelijk de zoutkussens in het noordelijke deel van het kaartbladgebied.

15.2 Combinatiemogelijkheden van toepassingen

Bij het inventariseren van de mogelijkheden voor diepe toepassingen in de ondergrond, dient allereerst duidelijk te zijn welke van de mogelijke toepassingen met elkaar interfereren. Zo heeft de praktijk aangetoond dat zout- en gaswinning in principe op dezelfde locatie kunnen worden uitgevoerd, mits de horizon waaruit het gas wordt gewonnen zich niet boven het zoutvoorkomen bevindt. Echter, CO_2-opslag en gaswinning in dezelfde eenheid kunnen niet worden gecombineerd, evenmin als gas- en aardwarmtewinning.

Tabel 15.3. Overzicht van de ondergrondse toepassingen.

Toepassingen op een locatie in dezelfde eenheid op de horizontale schaal; toepassingen op een locatie in verschillende eenheden op de verticale schaal.

Toepassing	*Gaswinning*	*Oliewinning*	*Zoutwinning*	*CO_2-opslag*	*Gasopslag*	*Opslag afval*
Gaswinning			ja	nee	nee	nee
Oliewinning	ja			ja	ja[1]	
Zoutwinning	ja[1]			ja[1]	ja[1]	ja[1]
CO^2-opslag	nee	ja	ja		nee	ja[1]
Gasopslag	nee	nee	ja	nee		
Opslag afval	ja	ja				
Aardwarmte	nee	nee	ja	nee	nee	

[1] Onder voorwaarden

Appendices

Appendix A

Overzicht van de gebruikte seismiek

Survey	*Jaar*	*Eigenaar*	*2D/3D*
Almelo	1985	NAM	3D
Annerveen	1983	NAM	3D
Blijham	1994	NAM	3D
Bonnerveen	1985	NAM	3D
Eext	1992	NAM	3D
Emmen	1983	NAM	3D
Emmen West	1985	NAM	3D
Exloo	1984	NAM	3D
Gasselternijveen/Stadskanaal	1982	NAM	3D
Groningen Westflank dl 2	1986	NAM	3D
Groningen Veld dl 4	1988	NAM	3D
Grootegast 1, 3, 4 en 5	1985-1986	NAM	3D
Hoogenweg-Schoonebeek	1984-1991	NAM	3D
Hijken	1993	NAM	3D
Klazienaveen	1988	NAM	3D
Musschelkanaal	1984	NAM	3D
Nieuwe Pekela	1985	NAM	3D

Appendix B

Overzicht gebruikte boringen

No.	*Naam boring*	*Code*	*Eigenaar*	*Einddiepte*	*Jaar*
1.	Allardsoog-1	ALO-1	NAM	3180	1984
2.	Annerveen-Anlo-1	ANA-1	NAM	3014	1962
3.	Annen-Anlo-1	ANL-1	NAM	3817	1965
4.	Annerveen-5	ANN-5	NAM	3060	1984
5.	Annerveen-Schuilingsoord-1	ANS-1	NAM	3190	1970
6.	Annerveen-Veendam-1	ANV-1	NAM	3217	1969
7.	Annerveen-Veendam-3	ANV-3	NAM	3200	1983
8.	Appelscha-1	APS-1	NAM	3000	1971
9.	Assen-1	ASN-1	NAM	3750	1982
10.	Beilen-1	BEI-1	NAM	2943	1952
11.	Bergentheim-Hardenberg-1	BHH-1	NAM	2420	1959
12.	Blijham-1	BHM-1	NAM	3502	1972
13.	Blijham-2	BHM-2	NAM	4055	1979
14.	Blijham-3	BHM-3	NAM	3750	1980
15.	De Bente-1	BNT-1	NAM	1350	1975
16.	Bolderij-1	BOL-1	NAM	2993	1972
17.	Boerakker-1	BRA-1	NAM	3262	1984
18.	Beerta-1	BTA-1	NAM	3557	1992
19.	Buinen-1	BUI-1	NAM	4489	1981
20.	Collendoorn-1	CLD-1	NAM	3135	1983
21.	Collendoornerveen-1	CLDV-1	NAM	2995	1990
22.	Coevorden-3	COV-3	NAM	3048	1950
23.	Coevorden-4	COV-4	NAM	3208	1951
24.	Coevorden-6	COV-6	NAM	1214	1954
25.	Coevorden-7	COV-7	NAM	3092	1971
26.	Coevorden-9	COV-9	NAM	3165	1975
27.	Coevorden-10	COV-10	NAM	3241	1975
28.	Coevorden-11	COV-11	NAM	3113	1976
29.	Coevorden-24	COV-24	NAM	3173	1981
30.	Coevorden-28	COV-28	NAM	3919	1983
31.	Coevorden-31	COV-31	NAM	3190	1983
32.	Coevorden-33	COV-33	NAM	3129	1983
33.	Coevorden-38	COV-38	NAM	3094	1985
34.	Coevorden-40	COV-40	NAM	3803	1985
35.	Coevorden-41	COV-41	NAM	3670	1985
36.	Coevorden-42	COV-42	NAM	3402	1985
37.	Coevorden-47	COV-47	NAM	3189	1986
38.	Coevorden-51	COV-51	NAM	3081	1990
39.	Dalen-1	DAL-1	NAM	3425	1972
40.	Dalen-2	DAL-2	NAM	3494	1974
41.	Dalen-6	DAL-6	NAM	3285	1979
42.	Dalen-7	DAL-7	NAM	4020	1980
43.	Dalen-9	DAL-9	NAM	3490	1982
44.	Denekamp-2	DEN-2	NAM	2425	1952
45.	Diever-1	DIV-1	NAM	2260	1961

Overzicht gebruikte boringen

No.	*Naam boring*	*Code*	*Eigenaar*	*Einddiepte*	*Jaar*
46.	Donkerbroek-1	DKK-1	CHE	1968	1981
47.	Donkerbroek-3	DKK-3	HAR	2770	1991
48.	Drouwenermond-1	DRM-1	NAM	4280	1982
49.	Den Velde-1	DVD-1	NAM	3226	1986
50.	De Venen-1	DVN-1	NAM	3020	1989
51.	Drouwenerveen-Zuideind-1	DVZ-1	NAM	4303	1983
52.	Dwingelo-1	DWL-1	NAM	938	1949
53.	Dwingelo-2	DWL-2	NAM	3792	1955
54.	Eemskanaal-1	EKL-1	NAM	3064	1970
55.	De Eeker-107	EKR-107	NAM	3000	1966
56.	Eleveld-101	ELV-101	NAM	3550	1971
57.	Eleveld-102	ELV-102	NAM	3807	1975
58.	Emmer-Compascuum-1	EMC-1	NAM	4432	1979
59.	Emmen-1	EMM-1	NAM	1412	1948
60.	Emmen-2	EMM-2	NAM	1656	1949
61.	Emmen-4	EMM-4	NAM	1787	1951
62.	Emmen-6	EMM-6	NAM	1379	1954
63.	Emmen-7	EMM-7	NAM	4364	1969
64.	Emmen-8	EMM-8	NAM	4370	1976
65.	Emmen-11	EMM-11	NAM	4567	1979
66.	Emmen-13	EMM-13	NAM	4235	1982
67.	Emmen-14	EMM-14	NAM	4350	1982
68.	Emmen-16	EMM-16	NAM	4213	1982
69.	Emmen-Nieuw Amsterdam-1	ENA-1	NAM	3710	1969
70.	Eexterveen-1	ETV-1	NAM	3315	1978
71.	Exloo-1	EXO-1	NAM	2944	1965
72.	Exloo-2	EXO-2	NAM	4283	1973
73.	Froombosch-1	FRB-1	NAM	2889	1966
74.	Grootegast-1	GGT-1	NAM	3022	1961
75.	Goldhorn-1	GLH-1	NAM	4500	1980
76.	Grolloo-1	GRL-1	NAM	4652	1980
77.	Geesteren-1	GST-1	NAM	2400	1971
78.	Gasselternijveen-1	GSV-1	NAM	4200	1979
79.	Gieterveen-Oost-1	GTV-1	NAM	4028	1981
80.	Haren-1	HAR-1	NAM	3577	1953
81.	Hardenberg-1	HBG-1	NAM	1501	1949
82.	Hardenberg-2	HBG-2	NAM	3536	1967
83.	Hardenberg-3	HBG-3	NAM	2973	1968
84.	Hessum-1	HES-1	CON	2223	1968
85.	Heiligerlee-1	HGL-1	NAM	3100	1982
86.	Hoogenweg-1	HGW-1	NAM	3300	1988
87.	Hijken-1	HIJ-1	PET	1925	1965
88.	Harkstede-1	HRS-1	NAM	3343	1977
89.	Kolham-1	KHM-1	NAM	4050	1989
90.	Kloosterhaar-1	KLH-1	NAM	2670	1981

Overzicht gebruikte boringen

No.	*Naam boring*	*Code*	*Eigenaar*	*Einddiepte*	*Jaar*
91.	Kooipolder-1	KPD-1	NAM	2994	1966
92.	Marumerlage-1	MAL-1	NAM	3152	1984
93.	Meeden-1	MDN-1	NAM	3550	1983
94.	Midlaren-1	MLA-1	NAM	3650	1985
95.	Marslanden-1	MSL-1	PLA	2801	1974
96.	Midwolda-1	MWD-1	NAM	2940	1965
97.	Noordbroek-1	NBR-1	NAM	2889	1962
98.	Noord-Nederland-1	NNE-1	BPM	598	1937
99.	Noord-Nederland-2	NNE-2	BPM	589	1938
100.	Noord-Nederland-5	NNE-5	BPM	727	1938
101.	Noord-Nederland-6	NNE-6	BPM	469	1938
102.	Noord-Nederland-11	NNE-11	BPM	1044	1939
103.	Norg-1	NOR-1	NAM	3329	1965
104.	Norg-2	NOR-2	NAM	3260	1977
105.	Norg Zuid-1	NRZ-1	NAM	3956	1984
106.	Nieuw-Scheemda-1	NWS-1	NAM	2829	1965
107.	Ommen-1	OMM-1	BPM	659	1943
108.	Ommen-3	OMM-3	NAM	2788	1979
109.	Ootmarsum-1	OOT-1	BPM	688	1943
110.	Oude-Pekela-1	OPK-1	NAM	3812	1989
111.	Opende-Oost-1	OPO-1	NAM	3100	1979
112.	Oosterhesselen-1	OSH-1	NAM	3410	1973
113.	Oosterhesselen-2	OSH-2	NAM	3700	1977
114.	Pasop-1	PSP-1	NAM	3604	1991
115.	Punthorst-1	PTH-1	NAM	1922	1984
116.	Raalte-2	RAL-2	BP	1679	1983
117.	Rammelbeek-2	RAM-2	NAM	2606	1970
118.	Radewijk-1	RAW-1	NAM	3045	1970
119.	Reutum-1	REU-1	NAM	2551	1970
120.	Roden-101	ROD-101	NAM	3235	1970
121.	Roden-102	ROD-102	NAM	3848	1976
122.	Roden-201	ROD-201	NAM	3410	1976
123.	Roode Til-1	ROT-1	NAM	2940	1968
124.	Roswinkel-1	RSW-1	NAM	2299	1976
125.	Roswinkel-3	RSW-3	NAM	2620	1977
126.	Roswinkel-8	RSW-8	NAM	4129	1985
127.	Ruinen-1	RUI-1	NAM	1489	1950
128.	Ruinen-2	RUI-2	NAM	1287	1954
129.	Sappemeer-1	SAP-1	NAM	3027	1964
130.	Sappemeer-4	SAP-4	NAM	2885	1965
131.	Schoonebeek-197	SCH-197	NAM	1919	1953
132.	Schoonebeek-313	SCH-313	NAM	2987	1957
133.	Schoonebeek-447	SCH-447	NAM	3977	1968
134.	Schoonebeek-449	SCH-449	NAM	3344	1971
135.	Schoonebeek-463	SCH-463	NAM	3131	1974

Overzicht gebruikte boringen

No.	Naam boring	Code	Eigenaar	Einddiepte	Jaar
136.	Schoonebeek-537	SCH-537	NAM	3510	1979
137.	Schoonebeek-540	SCH-540	NAM	986	1979
138.	Schoonebeek-548	SCH-548	NAM	845	1979
139.	Schoonebeek-580	SCH-580	NAM	3170	1982
140.	Sebaldeburen-1	SEB-1	NAM	3173	1989
141.	Sleen-1	SLN-1	NAM	1161	1950
142.	Sleen-4	SLN-4	NAM	4484	1977
143.	Sleen-5	SLN-5	NAM	2124	1977
144.	Slochteren-1	SLO-1	NAM	2709	1959
145.	Slochteren-3	SLO-3	NAM	2880	1963
146.	Smilde-1	SML-1	NAM	2550	1974
147.	Sleen-Dommerskanaal-1	SND-1	NAM	1795	1983
148.	Schoonlo-1	SOL-1	BPM	641	1947
149.	Schoonlo-2	SOL-2	BPM	832	1947
150.	Schoonlo-3	SOL-3	BPM	718	1947
151.	Schaapbuiten-1	SPH-1	NAM	3131	1971
152.	Spitsbergen-101	SPI-101	NAM	2997	1966
153.	Staphorst-1	STA-1	NAM	1495	1950
154.	Staphorst-3	STA-3	NAM	1485	1950
155.	Stadskanaal-1	STK-1	NAM	2795	1981
156.	Schildwolde-1	SWO-1	NAM	3103	1973
157.	Scheemderszwaag-101	SZW-101	NAM	3025	1966
158.	Ter Apel-1	TAP-1	NAM	2691	1979
159.	Ter Apel-2	TAP-2	NAM	4900	1983
160.	Tripscompagnie-1	TCI-1	NZW	1822	1982
161.	Tubbergen-5	TUB-5	NAM	2824	1967
162.	Tubbergen-7	TUB-7	NAM	1543	1954
163.	Tubbergen-8	TUB-8	NAM	3206	1967
164.	Tubbergen-Mander-1	TUM-1	NAM	2456	1968
165.	Tubbergen-Mander-2	TUM-2	NAM	1859	1973
166.	Tusschenklappen-1	TUS-1	NAM	2836	1965
167.	Uitenburen-2	UTB-2	NAM	3220	1966
168.	Veendam-1	VDM-1	SHL	1770	1972
169.	Veelerveen-1	VLV-1	NAM	4191	1981
170.	Vlagtwedde-1	VLW-1	NAM	2009	1954
171.	Vlagtwedde-2	VLW-2	NAM	4457	1977
172.	Vries-1	VRS-1	NAM	3720	1968
173.	Vries-2	VRS-2	NAM	3264	1970
174.	Vries-3	VRS-3	NAM	3450	1976
175.	Vries-4	VRS-4	NAM	3451	1985
176.	Vriezenveen-1	VRV-1	BPM	701	1944
177.	Valthermond-1	VTM-1	NAM	4296	1977
178.	Wanneperveen 9	WAV-9	NAM	1425	1980
179.	Woudbloem-1	WBL-1	NAM	2996	1967
180.	Annerveen-Wildervank-1	WDV-1	NAM	3188	1967

Overzicht gebruikte boringen

No.	*Naam boring*	*Code*	*Eigenaar*	*Einddiepte*	*Jaar*
181.	Westerbork-1	WES-1	NAM	1497	1951
182.	Winschoten-1	WSN-1	KNZ	1000	1952
183.	Winschoten-3	WSN-3	KNZ	1000	1953
184.	Winschoten-11	WSN-11	KNZ	1520	1964
185.	Westerdiep-2	WTD-2	NAM	3114	1973
186.	De Wijk-1	WYK-1	NAM	1174	949
187.	De Wijk-4	WYK-4	NAM	1204	1951
188.	De Wijk-5	WYK-5	NAM	1475	1988
189.	De Wijk-6	WYK-6	NAM	2582	1953
190.	De Wijk-7	WYK-7	NAM	2696	1954
191.	De Wijk-13	WYK-13	NAM	2700	1973
192.	De Wijk-15	WYK-15-A	NAM	1450	1977
193.	De Wijk-16	WYK-16	NAM	1378	1978
194.	De Wijk-20	WYK-20	NAM	1309	1981
195.	De Wijk-21	WYK-21	NAM	2970	1982
196.	Zuidbroek-1	ZBR-1	NAM	3100	1980
197.	Zuidlaren-1	ZLN-1	NAM	3338	1976
198.	Zuidlaarderveen-1	ZLV-1	NAM	3115	1975
199.	Zuiderpolder-1	ZPD-1	NAM	3067	1970
200.	Zuidwolde-1	ZUW-1	NAM	2911	1954
201.	Zevenhuizen-1	ZVH-1	NAM	3270	1983
202.	Zuiderveen-1	ZVN-1	NAM	3013	1966
203.	Zuidwending-1	ZWD-1	NAM	3280	1974
204.	Zuidwending-zout-1	ZWD-KNZ-1	Akzo	1520	1964
205.	Zuidwending-zout-8	ZWD-KNZ-8	Akzo	1800	1988
206.	Zweelo-1	ZWE-1	NAM	1473	1952

Duitse boringen:

Nr	*Naam*	*Einddiepte*	*Bron*
207.	Emlichheim-1	1153	Bentz (1947)
208.	Fehndorf-1	1839	Bentz (1947)
209.	Neusustrum-T-1	412	
210.	Oberlanger Tenge-1	800	Bentz (1947)
211.	Oberlanger Tenge-2	823	Bentz (1947)
212.	Oberlanger Tenge-4	770	Bentz (1947)
213.	Oberlanger Tenge-5	1162	Bentz (1947)
214.	Oberlanger Tenge-Z1	1571	Fabian et al. (1962)
215.	Rütenbrock-1	1151	Bentz (1947)
216.	Rütenbrock-2	1221	Bentz (1947)
217.	Wielen-Z-1	2735	Schuster (1962)

Appendix C

Reservoirsommaties Limburg Groep

De sommaties in onderstaande tabel zijn per boring weergegeven.
Toegepaste cut-off waarden:
kleigehalte $V_{cl}(co)=50\%$; effectieve porositeit $Ø_e(co)=8\%$. De cut-off waarde van de effectieve porositeit is gebaseerd op kerngegevens van boringen op nabijgelegen kaartbladen (Rijks Geologische Dienst, 1993; TNO-NITG, 1998). Boringen waarin de betreffende eenheid slechts gedeeltelijk werd geëvalueerd zijn aangegeven met *.

Bruto, Netto in meters
$Ø_{em}$ = gemiddelde effectieve porositeit (in procenten)
V_{clm} = gemiddeld kleigehalte (in procenten)

De Lutte Formatie

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
DAL-7	302,4	8,9	9,8	24,1
EMM-13*	138,0	1,6	10,0	28,2
TUB-5	145,3	19,9	11,0	31,4

Tubbergen Formatie

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
DAL-7	345,0	79,0	10,2	14,0
DVD-1	216,8	90,4	12,2	21,4
GST-1*	216,1	75,2	11,2	27,4
HBG-3	75,5	31,9	13,8	18,8
OMM-3*	30,3	7,7	12,1	32,2
TUB-5*	484,9	183,9	11,4	19,1
TUM-1*	432,3	255,2	13,3	16,0

Maurits Formatie

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
DAL-7	138,5	2,5	19,8	28,5
HBG-3	134,0	20,8	12,3	30,6

Appendix D

Show, status en testgegevens Limburg Groep

Put	*Show*	*Status*	*Test*	*Interval*	*Opbrengst*	*Debiet*	*Eenheid*
DAL-7	-	GAS	RFT	3370-3550			DCDT,DCHL
DVD-1	gas	GAS	RFT	2987-3218	-		DCDT,DCCU
			PRP1	2977-3149	G	265(nz)	DCDT
EMM-13	-	D&A	RFT	4159			DCHL
			RFT	4222			DCHL
GST-1	-	D&A	-				
HBG-3	-	D&A	-				
OMM-3	-	D&A	-				
TUB-5	-	GAS	PRP	2154-2383	G	275	ROSL,DCDT
					C	3	
					W	1	
TUM-1	-	D&A	-				

Legenda appendices C, D, E, F, G, H, I, J, K en L

Status:

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

Test:

DST = drill stem test (hoeveelheid in liters)
PRP = produktieproef (gasdebiet, Q_{50}, in 1000 m^3/d; water/condensaat in m^3/d)
RFT = repeat formation test (hoeveelheden in liters)
FIT = formation interval test (hoeveelheden in liters)
testinterval in meters logdiepte

Opbrengst/debiet:

G = gas
O = olie
C = condensaat
GCM = gascut mud
W = water
M = mud
MF = mud filtraat
FW = formatie water
SW = zout water
(b) = in bovenste kamer van RFT
(o) = in onderste kamer van RFT
nz = na zuring
Eenheid = formatie of laagpakket

DCCU = Maurits Formatie
DCDT = Tubbergen Formatie
DCHL = De Lutte Formatie
ROSL = Slochteren Formatie
ROSLU = Boven-Slochteren Zandsteen
ROCLT = Ten Boer Laagpakket
ZEZ2C = Z2 Carbonaat
ZEZ3G = Grijze Zoutklei
ZEZ3C = Z3 Carbonaat
RBMVL = Onder-Volpriehausen Zandsteen
RBMDL = Onder-Detfurth Zandsteen
RNSOB = Basale Solling Zandsteen
KNNCV = Bentheim Kleisteen
KNNSP = Bentheim Zandsteen
KNNCE = Ruinen Laagpakket
KNNCW = Westerbork Laagpakket
KNNSG = Gildehaus Zandsteen
KNNSF = Friesland Laagpakket

Appendix E

Reservoirsommaties Boven-Rotliegend Groep

De sommaties in onderstaande tabel worden gepresenteerd per boring. Toegepaste cut-off waarden: kleigehalte $V_{cl}(co)=50\%$; effectieve porositeit $Ø_e(co)=6\%$. De cut-off waarde van de effectieve porositeit is gebaseerd op kerngegevens. Gegevens zijn aangevuld met relevante boringen uit omliggende kaartbladen (Rijks Geologische Dienst, 1991, 1993; TNO-NITG, 1998). Boringen waarin niet de gehele stratigrafische eenheid werd geëvalueerd zijn aangegeven met *.

Bruto, Netto in meters
$Ø_{em}$ = gemiddelde effectieve porositeit (in procenten)
V_{clm} = gemiddeld kleigehalte (in procenten)

Boven-Rotliegend Groep

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
ALO-1	161,7	125,9	19,8	19,9
ANN-5	126,7	101,0	12,8	22,5
BHM-2	103,6	68,7	11,6	20,6
BRA-1	261,2	200,7	18,2	22,2
GLH-1*	115,7	82,8	14,3	25,9
HGL-1*	123,6	83,4	15,0	21,4
MAL-1	182,6	134,3	21,0	16,8
MLA-1	172,7	115,2	12,5	20,6
NOR-1*	137,2	111,2	16,0	17,3
OPO-1	201,2	149,2	18,2	22,7
ROD-102	221,8	175,0	18,6	20,6
VRS-4	200,5	154,5	16,5	28,3
WYK-15	15,8	15,4	16,7	22,1

Slochteren Formatie

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
ALO-1	121,3	120,9	20,1	19,0
ANN-5	113,8	99,8	12,7	22,3
BHM-2	71,4	68,7	11,6	20,6
BRA-1	204,8	197,4	18,2	21,9
GLH-1	91,8	82,6	14,3	25,9
HGL-1	95,0	83,4	15,0	21,4
MAL-1	136,2	133,5	21,1	16,8
MLA-1	135,2	105,0	12,7	19,1
NOR-1*	118,5	106,6	16,2	16,9
OPO-1	155,5	148,4	18,2	22,5
ROD-102	198,3	174,3	18,7	20,5
VRS-4	187,0	154,5	16,5	28,3
WYK-15	15,8	15,4	16,7	22,1

Appendix F

Show, status en testgegevens Boven-Rotliegend Groep

Put	*Show*	*Status*	*Test*	*Interval*	*Opbrengst*	*Debiet*	*Eenheid*
ALO-1	-	D&A	RFT1	2770	SW+MF(b)	10,3	ROCLT
					SW+MF(o)	3,8	
			RFT2	2782	G(b)	0,5	ROCLT
					FW(b)	3,6	
					FW(o)	9	
			PRP1	2762-2790	SW		ROCLT
					G		
ANN-5	gas	GAS	PRP	2922-3028	G	3760	ROSL
BHM-2	gas	GAS	PRP	3579-3641	G	445	ROSL
			RFT	3590-3640			
BRA-1	gas	GAS	PRP	2932-3002	G	2500	ROCLT+ROSL
					W		
					C		
			RFT	2938-3152			ROCLT+ROSL
			FIT	2985	G(b)	1,7	ROSL
					C(b)		
					MF(b)	0,2	
					G(o)	1,7	
					C(o)	0,2	
					MF(o)	1,1	
GLH-1	gas	D&A	RFT	3109	SW+MF(b)	4	ROSL
					SW+MF(o)	10	ROSL
			RFT	3109-3198			ROSL
HGL-1	gas	GAS	RFT	2763-2798			ROSL
MAL-1	gas	SUS	RFT6	2899			ROCLT
			RFT7	2930	G+W (b)	3,8	ROSLU
					G+W (o)	10,4	ROSLU
			RFT	2930-3079			ROSL
MLA-1	gas	GAS	RFT	3175-3331			ROCLT+ROSL
			FIT	3213	MF	5,5	
NOR-1	gas	SUS	PRP	2838-2844	G	350	ROSL
					C	5,9	
					(W)		
OPO-1	gas	GAS	RFT	2545	G(b)	19,8	ROSL
					G(l)	622	
					MF+W+C(o)	2,3	
			PRP	2513-2549	G	840	ROSL
					W	0,7	
					C	12,5	
ROD-102	gas	GAS	PRP	3585-3675	G	2750	ROCLT+ROSL
					W	15	
					C	250	
VRS-4	gas	GAS	PRP	3257-3305	G	475	ROSL
WYK-15	-	D&A	RFT1	3017			ROSL

Appendix G

Reservoirsommaties Zechstein Groep

Onderstaande tabellen geven de reservoirsommaties van de Z2 en Z3 Carbonaat. Toegepaste cut-off waarden: effectieve porositeit $Ø_e(co)=1\%$. Gegevens zijn aangevuld met relevante boringen uit Kaartblad X (TNO-NITG, 1998). Boringen waarin niet het gehele stratigrafische interval werd geëvalueerd zijn aangegeven met *.

Bruto, Netto in meters
$Ø_{em}$= gemiddelde effectieve porositeit (in procenten)
V_{clm} = gemiddeld kleigehalte (in procenten)

Z3 Carbonaat

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
CLDV-1	9,4	6,8	5,6	9,7
COV-28	25,2	15,3	2,4	2,7
GST-1	36,1	35,1	6,2	2,8
HES-1	41,3	40,9	9,7	2,7
HGW-1	19,6	1,1	1,4	4,7
KLH-1	32,2	16,6	5,8	3,5
OMM-3	32,0	27,7	6,1	2,7
RAM-2	27,4	15,8	3,1	3,3
RAW-1*	19,3	0,8	1,1	2,0

Z2 Carbonaat

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
CLDV-1	62,3	61,1	16,5	3,4
COV-28	46,3	21,2	2,5	2,6
DAL-1	35,8	32,9	2,0	1,9
DVZ-1	24,1	23,0	2,9	2,8
ELV-101	14,9	14,5	3,9	2,0
EMC-1	21,3	21,3	7,6	2,2
EMM-13	96,5	84,7	3,5	2,2
GST-1	32,3	28,0	6,0	3,5
HES-1	56,0	56,0	8,8	3,5
HGW-1	51,7	50,8	7,5	3,3
KLH-1	50,9	36,3	6,4	2,6
OMM-3	41,9	37,3	3,8	2,6
RAM-2	55,4	6,0	2,1	2,4
RAW-1	71,9	71,9	4,3	2,7
TUB-5*	30,8	17,2	4,2	6,2

Appendix H

Show, status en testgegevens Zechstein Groep

Put	*Show*	*Status*	*Test*	*Interval*	*Opbrengst*	*Debiet*	*Eenheid*
CLDV-1	gas	GAS	RFT1	2425-2471	G(b)		ZEZ2C
					G(o)		
			PRP2	2416-2472	G	3800(nz)	ZEZ2C
					C	110(nz)	
					W	10(nz)	
			RFT	2375-2386	-		ZEZ3C,ZEZ3G
COV-28	-	D&A	-				
DAL-1	gas	GAS	PRP1	3005-3068	G	565	ZEZ2C
					C	16	
DVZ-1	gas	GAS	RFT	4230-2451	MF		ZEZ3C
					G	traces	
ELV-101	-	D&A	-				
EMC-1	gas	D&A	-				
EMM-13	gas	D&A	RFT	3918-4003	MF(b)	3,5	ZEZ3C
					MF(o)	9,5	
GST-1	-	D&A	-				
HES-1	-	D&A	-				
HGW-1	gas	GAS	RFT	2443	-		ZEZ3C
			RFT	2465-2501	W+MF(b)	1,5	ZEZ2C
					G	traces	
					MF(o)	2	
			PRP1	2465-2495	G	465(nz)	ZEZ2C
KLH-1	gas	D&A	RFT	2114-2116	MF(b)	0,3	ZEZ3C
					SW(o)	0,2	
			RFT	2152-2167			ZEZ2C
OMM-3	-	D&A	RFT	2375-2386	-		ZEZ3C
RAM-2	gas	SUS	PRP	2057-2110	G	1000(nz)	ZEZ2C
					C	230(nz)	
					W	2(nz)	
			PRP	1975-2000	G	100(nz)	ZEZ3C
					C	160(nz)	
RAW-1	-	D&A	PRP1	2557-2567	W	(nz)	ZEZ2C
			PRP2	2523-2542	W	(nz)	ZEZ3C
					O		
TUB-5	-	D&A	DST7	1769-1780	GCM+C		ZEZ2C
			DST8	1769-1790	GCM+C	500	ZEZ2C
			DST9	1769-1814	GCM+C	3000	ZEZ2C

Appendix I

Reservoirsommaties Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep

Onderstaande tabellen geven de reservoirsommaties van de zandstenen van de Onder- en Boven Germaanse Trias Groep. Hierbij zijn de twee zandstenen in de Onder-Detfurth Zandsteen apart gesommeerd. Toegepaste cut-off waarden: effectieve porositeit $Ø_e(co)$=5%; kleigehalte V_{co} =50%.

Bruto, Netto in meters; $Ø_{em}$ = gemiddelde effectieve porositeit (in procenten); V_{clm} = gemiddeld kleigehalte (in procenten).

Basale Solling Zandsteen

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
DVZ-1	8,5	8,3	13,1	9,5
RSW-1	14,1	13,5	13,6	14,2
SCH-537	7,5	6,7	9,8	17,3
SLN-5	7,9	7,0	12,5	14,6
VLV-1	7,9	4,0	9,7	17,4

Hoofd-Bontzandsteen Subgroep

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
DVZ-1	140,0	37,5	17,2	17,4
RSW-1	191,3	54,6	15,4	25,6
SCH-537	170,9	61,4	16,7	23,8
SLN-5	162,3	50,7	17,8	23,6
VLV-1	134,3	36,1	12,5	24,8

Onder-Detfurth Zandsteen

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
DVZ-1	29,5	19,5	14,7	19,0
RSW-1	28,8	16,5	18,3	17,8
SCH-537	26,9	16,0	17,8	15,8
SLN-5	35,1	24,2	17,0	18,7
VLV-1	33,0	23,5	13,5	24,2

Onder-Detfurth Zandsteen: bovenste zandsteen

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
DVZ-1	4,4	3,9	17,8	11,6
RSW-1	6,4	6,3	18,7	17,0
SCH-537	6,1	5,9	16,7	14,3
SLN-5	6,1	5,9	18,5	16,2
VLV-1	4,2	4,0	15,8	13,8

Onder-Detfurth Zandsteen: onderste zandsteen

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
DVZ-1	15,8	15,5	14,0	20,7
RSW-1	11,6	10,1	18,1	18,1
SCH-537	11,2	10,1	18,5	16,8
SLN-5	18,1	18,1	16,6	19,4
VLV-1	19,9	19,4	13,0	26,2

Onder-Volpriehausen Zandsteen

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
DVZ-1	21,5	16,1	21,1	14,9
RSW-1	22,3	19,4	17,2	21,0
SCH-537	21,3	21,3	23,0	13,6
SLN-5	18,0	16,3	24,6	19,1
VLV-1	6,1	5,1	13,7	21,0

Appendix J

Show, status en testgegevens Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep

Put	*Show*	*Status*	*Test*	*Interval*	*Opbrengst*	*Debiet*	*Eenheid*
DVZ-1	gas	D&A	-				
RSW-1	gas	GAS	PRP1	2233-2244	G	1900	RBMVL
					W	3,8	
			PRP2	2049-2063	G	270	RNSOB
					W	0,5	
			FIT1	2236,5	G	9,5	RBMVL
					M	0,7	
			FIT2	2134	G	8,7	RBMDL
					M	1,5	
SCH-537	-	D&A	-				
SLN-5	gas	GAS	PRP1	2267-2305	G	1200	RBMDL
					W	1,0	
			PRP2	2241-2243	G	145	RNSOB
					W	0,05	
VLV-1	-	D&A	FIT1	3276	-		RBMVL
			FIT2	3137	-		RBMDL

Appendix K

Reservoirsommaties Rijnland Groep

Onderstaande tabellen geven de reservoirsommaties Rijnland Groep. Toegepaste cut-off waarden: effectieve porositeit $Ø_e$(co)=8%.

Bruto, Netto in meters
Fem=gemiddelde effectieve porositeit (in procenten)
Vclm=gemiddeld kleigehalte (in procenten)

Gildehaus Zandsteen

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
DAL-2	9,0	8,1	21,9	31,2
HBG-5	52,8	35,1	14,7	41,6
SCH-548	10,5	9,8	24,8	36,8
SND-1	52,5	40,2	21,4	38,4

Bentheim Zandsteen

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
DAL-2	12,6	11,9	23,6	12,6
EMM-8	20,8	20,6	22,3	15,8
SCH-548	27,4	27,4	28,0	13,8
SND-1	50,0	49,0	21,7	13,6
STK-1	9,7	7,8	16,3	39,2
VTM-1	23,3	22,8	18,0	25,9

Friesland Laagpakket

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
WYK-20	11,3	9,4	18,3	32,3
ZWD-1	22,1	10,3	12,5	36,4

Vlieland Kleisteen Formatie

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
DAL-2	30,2	1,7	26,4	47,2
EMM-8	52,4	1,4	17,8	48,6
HBG-5	7,7	0	-	-
SCH-548	3,9	0	-	-
SND-1	9,4	0	-	-
STK-1	5,8	0	-	-
VTM-1	58,5	0,3	17,2	48,9
WYK-20	27,1	0	-	-
ZWD-1	24,2	0	-	-

Midden-Holland Kleisteen

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
SCH-548	10,5	0,9	20,6	44,6

Ruinen/Westerbork Laagpakket

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
DAL-2	8,2	0,2	16,2	37,6
HBG-5	49,6	2,0	13,7	41,8
SCH-548	20,4	0	-	-
SND-1	72,4	0	-	-

Bentheim Kleisteen

Boring	*Bruto*	*Netto*	$Ø_{em}$	V_{clm}
DAL-2	3,8	0	-	-
EMM-8	21,8	3,7	14,3	44,9
STK-1	3,4	0	-	-
VTM-1	6,2	0	-	-

Appendix L

Show, status en testgegevens Rijnland Groep

Put	*Show*	*Status*	*Test*	*Interval*	*Opbrengst*	*Debiet*	*Eenheid*
DAL-2	-	D&A	-				
EMM-8	-	D&A	-				
HBG-5	-	D&A	-				
SCH-548	olie	D&A	-				KNNSP
SND-1	-	D&A	RFT	1417-1607			KNNSG,KNNCW, KNNCE, KNNSP
STK-1	-	D&A	-				
VTM-1	-	D&A	-				
WYK-20	gas	GAS	RFT	1492,5	G (b)	3,8	KNNSF
					G (o)	10,3	
					MF(o)	0,2	
			PRP	1475-1491	G	>300	KNNSF
ZWD-1	-	D&A	-				

Referenties

Baldschuhn, R. & Jaritz, W. (1977) *Korrelation der Bohrlochdiagramme und des Kernmaterials. In: Stratigraphie der Oberkreide in Nordwest-deutschland (Pompeckjsche Scholle),* Geol. Jb. A 38, p.7-9.

Baldschuhn, R., Best, G. & Kockel, F. (1991) *Inversion tectonics in the Northwest German Basin. In: Spencer, A.M. (ed.) Generation, Accumulation and Production of Europe's Hydrocarbons,* Spec. Publ. Europ. Ass. Petrol. Geosc. 1, p.149-159.

Baldschuhn, R., Frisch, U. & Kockel, F. (1996) *Geotektonischer Atlas von NW-Deutschland* 1:300.000. 17 parts. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.

Baldschuhn, R., Frisch, U. & Kockel, F. (1998) *Der Salzkeil, ein strukturelles Requisit der saxonischen Tektonik.* Z. dt. geol. Ges. 149, p.59-69.

Baldschuhn, R., Binot, F., Fleig, S, & Kockel, F. (1999) *Geotektonischer Atlas von NW-Deutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor.* Geol. Jb. A 153 (in druk).

Battsche, H. & Klarr, K. (1980) *Beobachtungen und Gedanken zur Gipshutgenese.* Fifth Symp. on Salt, p.9-19.

Begeleidingscommissie Onderzoek Aardbevingen (1993) *Eindrapport multidisciplinair onderzoek naar de relatie tussen Gaswinning en aardbevingen in Noord-Nederland.* De Bilt, 76pp.

Bentz, A. (1947) *Geotektonische Karte von Nordwestdeutschland,* Amt für Bodenforschung, Hannover-Celle.

Best, G. (1989) *Die Grenze Zechstein-Buntsandstein in Nordwestdeutschland nach Bohrlochmessungen,* Z. dt. geol. Ges. 140, p.73-85.

Best, G. (1996) *Floßtektonik in Norddeutschland: Erste Ergebnisse reflexionsseismischer Untersuchungen an der Salzstruktur Oberes Allertal.* Z. dt. geol. Ges. 147, p.455-464.

Betz, B., Führer, F., Greiner, G. & Plein, E. (1987) *Evolution of the Lower Saxony Basin.* Tectonophysics 137, p.127-170.

Beutler G., Rockel, W., Röhling, H.-G., Schulz, R. & Werner, K.H. (1992) *Regionale Untersuchungen von geothermischen Reserven und Resources in Nordwestdeutschland.* Geothermische Fachtagung 1992 Tagungsband, p.301-310.

Binot, F., Gerling, P., Hiltmann, W., Kockel, F. & Wehner, H. (1991) *The petroleum system in the Lower Saxony Basin. In: Spencer, A.M. (ed.) Generation, Accumulation and Production of Europe's Hydrocarbons III,* Spec. Publ. Europ. Ass. Petrol. Geosc. 3, p.121-139.

Bischoff, G. & Wolburg, J. (1963) *Zur Entwicklung des Ober-Malm im Emsland.* Erdoel Zeitschr. 79, p.445-472.

Boigk, H. (1961) *Zur Fazies und Erdgasführung des Buntsandsteins in Nordwestdeutschland.* Erdöl und Kohle-Erdgas-Petrochemie 14, p.998-1005.

Brouwer & Coenen (1968) *Nederland = Aardgasland.* Roelofs van Goor, Amersfoort, 300pp.

Brueren, J.W.R. (1959) *The stratigraphy of the Upper Permian 'Zechstein' Formation in the Eastern Netherlands.* In: *I Giacimenti Gassiferi dell' Europa Occidentale,* Atti del Conv. Milano, 1957, vol. I, p.243-274.

Bruijn, A. (1996) *De Wijk gas field (Netherlands): reservoir mapping with amplitude anomalies.* In: Rondeel, H.E., Batjes, D.A.J.& Nieuwenhuizen, W.H. (eds), *Geology of gas and oil under the Netherlands,* Kluwer, Dordrecht, p.243-253.

Clark, D.N. (1986) *The distribution of porosity in Zechstein carbonates.* In: Brooks, J., Goff, J. & Van Hoorn, B. (eds) *Habitat of Paleozoic gas in NW Europe.* Geol. Soc. Spec. Publ. 23, p.121-149.

Coelewij, P.A.J., Haug G.M.W. & Van Kuijk, H. (1978) *Magnesium-salt exploration in the northeastern Netherlands.* Geol. Mijnbouw 57, p.487-502.

Coward, M.P. (1991) *Inversion tectonics in NW Europe.* Abstracts EUG VI, Strassbourg, p.229.

Crittenden, S. (1987) *The "Albian transgression" in the Southern North Sea Basin.* Journ. Petr. Geol. 10, p.395-414.

David, F. (1990) *Sedimentologie und Beckenanalyse im Westfal C und D des nordwestdeutschen Beckens.* DGMK Bericht 384, 270pp.

Donovan, D.T. & Jones E.J.W. (1979) *Causes for world-wide changes in sea level.* Journ. Roy. Soc. London 136, p.187-192.

Eigenfeld, R.W.F. & Eigenfeld-Mende, I. (1986) *Niederländische permokarbone basische Magmatite als Fortzetsung der spilitisierten effusiva in NW-Deutschland.* Meded. Rijks Geol. Dienst 40, p.11-21.

Fabian, H.J., Gaertner, H. & Müller, G. (1962) *Oberkarbon und Perm in der Bohrung Oberlanger Tenge Z1 im Emsland.* Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf. 3, p.1075-1096.

Fertl, W.H. (1987) *Log-derived evaluation of shaly clastic reservoirs.* Journ. Petr. Techn. February 1987, p.175-194.

Franke, D. (1990) *Der präpermische Untergrund der Mitteleuropäischen Senke - Fakten und Hypothesen.* Nieders. Akad. Geowiss. Veröff. 4, p.19-75.

Frieg, C. & Kemper, E. (1989) *Mikropaläontologische Gliederung und Abgrenzung von Ober-Alb und Unter-Cenoman in Nordwestdeutschland.* Geol. Jb. A 113, p.73-193.

Frisch, U. & Kockel, F. (1997) *Altkimmerische Bewegungen in Nordwestdeutschland.* Brandenburger Geowiss. Beitr. 4, p.19-29.

Füchtbauer, H., Jankowski, B., David, E., David, F., Frank, F., Kraft, T., Sedat, B., Selter, V. & Strehlau, K. (1991) *Sedimentologie des nordwestdeutschen Oberkarbon.* DGMK Bericht 468, p.75-115.

Gdula, J.E. (1983) *Reservoir geology, structural framework and petrophysical aspects of the De Wijk gas field.* Geol. Mijnbouw 62, p.191-202.

Geluk M.C. (1995) *Stratigraphische Gliederung der Z2-(Stassfurt) Salzfolge in den Niederlanden: Beschreibung und Anwendung bei der Interpretation von halokinetisch gestörten Sequenzen.* Z. dt. geol. Ges. 146, p.458-465.

Geluk, M.C. (1997) *Palaeogeographic maps of Moscovian and Artinskian; contributions from the Netherlands.* In: Crasquin-Soleau, S. & De Wever, P. (eds), *Peri-Tethys stratigraphic correlations,* Geodiversitas 19, p.229-234.

Geluk, M.C. (1999a) *Late Permian (Zechstein) rifting in the Netherlands: models and implications for petroleum geology.* Petr. Geosc. 5, p.189-199.

Geluk, M.C. (1999b) *Palaeogeographic and structural development of the Triassic in the Netherlands -- new insights.* In: Bachmann, G.H. & Lerche, I. (eds) *The Epicontinental Triassic Vol. 1,* Halle 1998, Zentralblatt f. Geol. Paläol. p.545-570.

Geluk, M.C. (2000) *Late Permian (Zechstein) carbonate facies maps, the Netherlands.* Netherlands Journ. Geosc./Geol. Mijnbouw 79, p.17-27.

Geluk, M.C., A.N. Plomp & Th.H.M. van Doorn (1996) *The development of the Permo-Triassic succession in the basin fringe area, southern Netherlands.* In: Rondeel, H.E., Batjes, D.A.J. & Nieuwenhuijs, W.H. (eds), *Geology of gas and oil under the Netherlands,* Royal Geol. Mining Soc. KNGMG, Kluwer Academic Press, p.57-79.

Geluk, M.C. & Röhling, H.-G. (1997) *High-resolution sequence stratigraphy of the Lower Triassic 'Buntsandstein' in the Netherlands and Northwestern Germany.* Geol. Mijnbouw 76, p.227-246.

Geluk M.C. & Röhling, H.-G. (1999) *High-resolution sequence stratigraphy of the Lower Triassic Buntsandstein: a new tool for basin analysis.* In: Bachmann, G.H. & Lerche, I. (eds) *The Epicontinental Triassic Vol. 1,* Halle 1998, Zentralblatt f. Geol. Paläol., p.727-745.

Geluk, M.C., Van Wees, J.D., Grönloh, H. & Van Adrichem Boogaert, H.A. (1997) *Palaeogeography and palaeotectonics of the Zechstein (Upper Permian) in the Netherlands.* Proc. XIII Int. Congr. on Carboniferous-Permian, September 1995, Krakow, Poland, Prace Panstwowego Instytut Geologicznego CLVII, part 2, Warszawa, p.63-75.

Glasbergen, P. (1982) *Proefboring te Nieuweschans; resultaten van het geohydrologisch en geohydrochemisch onderzoek.* RID Meded. 82-3, 47pp.

Glennie, K.W. (1983) *Lower Permian Rotliegend desert sedimentation in the North Sea area.* In: Brookfield, M.E. & Ahlbrandt, T.S. (eds) *Developments in Sedimentology* 38, p.521-541.

Gramann, F., Heunisch, C., Klassen, H., Kockel, F., Dulce, G., Harms, F.-J., Katschorek, T., Mönnig, E., Schudack, M., Thies, D. & Weiss, M. (1997) *Das Niedersächsische Oberjura-Becken - Ergebnisse interdisziplinärer Zusammenarbeit.* Z. dt. geol. Ges. 148, p.165-236.

Haenel, R. & Staroste, E. (1988) *Geothermal resources in the European Community, Austria and Switzerland,* 69 pp.

Hancock, J.M. & Scholle, P.A. (1975) *Chalk of the North Sea.* In: Woodland, A.W. (ed.) *Petroleum and the continental shelf of North West Europe,* Geology Applied Sc. Publ. for Inst. of Petroleum, London, p.413-427.

Harsveldt, H.M. (1980) *Salt resources in The Netherlands as surveyed mainly by AKZO.* Fifth Symp. on Salt, p.65-81.

Hedemann, H.A. & Teichmüller, R. (1971) *Die Paläogeographische Entwicklung des Oberkarbons.* Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf. 19, p.129-142.

Herngreen, G.F.W., Van Hoeken-Klinkenberg, P.M.J. & De Boer, K.F. (1980) *Some remarks on selected palynomorphs near the Jurassic-Cretaceous boundary in The Netherlands.* Proc. IVth Int. Palynol. Conf., vol. II, p.357-367.

Jaritz, W. (1973) *Zur Entstehung der Salzstrukturen in Nordwestdeutschland.* Geol. Jb. A 10, 77pp.

Kemper, E. (1976) *Geologische Führer durch die Grafschaft Bentheim und die angrenzenden Gebiete, mit einem Abriß der emsländischen Unterkreide.* 5. ergänzte Auflage, Verlag Heimatverein der Grafschaft Bentheim e.V. Nordhorn - Bentheim, 206pp.

Kemper, E. (1992) *Die tiefe Unterkreide im Vechte-Dinkel Gebiet.* Stichting Het Staringmonument te Losser, 95pp.

Koch, J., Kockel, F. & Krull, P. (1997) *Coalification at the base of the Zechstein and the pre-Permian surface in Northern Germany.* Geol. Jb. D 103, p.33-42.

Koyi, H., Jenyon, M.K. & Petersen, K. (1993) *The effect of basement faulting on diapirsm.* Journ. Petr. Geol. 16, p.285-312.

Lokhorst, A. (ed.) (1998) *Northwest European Gas Atlas - composition and isotope ratios of natural gases.* Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO - *National Geological Survey*, Haarlem, ISBN 90-72869-60-5.

Lögters, H. (1951) *Paläogeographie, Tektonik und Erdölvorkommen im Emsland.* Z. dt Geol. Ges. 102, p.8-42.

Lorenz, V. & Nicholls, I.A. (1976) *The Permo-Carboniferous Basin and Range province of Europe. An application of plate tectonics.* In: Falke, H. (ed.) *The Continental Permian in Central, West, and South Europe*, Reidel Publ. Company, Dordrecht, Holland, p.313-342.

Maureau, G.F.T.R. & Van Wijhe, D.H. (1979) *The prediction of porosity in the Permian (Zechstein 2) carbonate of eastern Netherlands using seismic data.* Geophysics 44, p.1502-1517.

Meyer, K. (1969) *Zur Paläogeographie der Stufen Rhät bis Alb im Emsland.* Erdöl-Erdgas Zeitschr. 85, p.484-505.

Milius, G. & Van der Vlugt, W.R. (1967) *De gasuitbarsting van Sleen 2.* Geogr. Tijdschrift van het K.N.A.G., nieuwe reeks 1, p.20-28.

Mulder, A.J. (1950a) *De zoutpijler van Schoonlo.* Geol. Mijnbouw 12, p.169-176.

Mulder, A.J. (1950b) *Oil in the Netherlands and Emsland (Germany).* Journ. Inst. Petroleum, vol. 36, no. 315, p.123-136.

TNO-NITG (1998) *Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, Toelichting bij blad X: Almelo-Winterswijk.* Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Haarlem, 145pp.

NLfB (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (1999) *Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland 1998*, Hannover, 125pp.

Pagnier, H.J.M. & Van Tongeren, P.C.H. (1996) *Upper Carboniferous of borehole De Lutte-6 and evaluation of the Tubbergen Formation in the eastern and southeastern part of the Netherlands.* Meded. Rijks Geol. Dienst 55, p.3-30.

Peryt, T.M. (1975) *Significance of stromatolites for environmental interpretations of the Buntsandstein (Lower Triassic) Rocks.* Geol. Rundschau 64, p.143-158.

Pitman, W.C. (1978) *Relationship between eustacy and stratigraphic sequences on passive margins.* Geol. Soc. Am. Bull. 89, p.1389-1403.

Plein, E. (1995) *Stratigraphie von Deutschland I, Norddeutsches Rotliegendbecken*, Rotliegend-Monographie Teil II. Courier Forsch.-Inst. Senckenberg 183, 193pp.

Quast, P. (1986) *The construction of the caverns in the gas storage project LI. Torup, Denmark.* Solution Mining Research Institute, Autumn meeting 1986.

Quirk, D.G. (1993) *Interpreting the Upper Carboniferous of the Dutch Cleaver Bank High.* In: Parker, J.R. (ed.) *Petroleum Geology of Northwest Europe*: Proceedings of the 4th Conference, p.697-706.

Ramsbottom, W.H.C. (1979) *Rates of transgression and regression in the Carboniferous of NW Europe.* J. Geol. Soc.136, p.147-154.

Rappol, M. (red.) 1992 *In de bodem van Drenthe.* Linguae Terrae, Amsterdam, 283pp.

Remmelts, G. (1995) *Fault-related salt tectonics in the southern North Sea, The Netherlands.* In: M.P.A.Jackson, D.G. Roberts & S.Snelson (eds), *Salt tectonics: a global perspective*, AAPG Mem. 65, p.261-272.

Rijkers, R.H.B. & Geluk, M.C. (1996) *Sedimentary and structural history of the Texel-IJsselmeer High, the Netherlands.* In: Rondeel, H.E., Batjes, D.A.J. & Nieuwenhuizen, W.H. (eds), Geology of *Gas and Oil under the Netherlands*, Kluwer, Dordrecht, p.265-284.

Rijks Geologische Dienst (1979) *Geologische kaart van Nederland 1:50000, Blad Emmen West & Oost 17W/17O*, Haarlem.

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 (1990) *Geologische kaart van Nederland 1:50000, Blad Assen West & Oost, 12W/12O*, Haarlem.

Rijks Geologische Dienst (1991) *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 V: Sneek-Zwolle.* RGD, Haarlem, 126pp.

Rijks Geologische Dienst (1993b) *Evaluation of salt bodies and their overburden in the Netherlands for the disposal of radioactive waste; b. Salt movement.* RGD, Haarlem, 47pp.

Rijks Geologische Dienst (1993c) *Evaluation of salt bodies and their overburden in the Netherlands for the disposal of radioactive waste; c. Caprock formation and subrosion.* RGD, Haarlem, 88pp.

Rijks Geologische Dienst (1995) *Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, Toelichting bij blad III: Rottumeroog-Groningen.* RGD, Haarlem, 113pp.

Ross, C.A. & Ross, R.P. (1987) *Late Paleozoic sea levels and depositional sequences.* Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Spec. Pub. 24, p.137-149.

Sannemann, D., J. Zimdars & E. Plein 1978 *Der basale Zechstein (A2-T1) zwischen Weser und Ems.* Z. dt. geol. Ges. 129, p.33-69.

Schott, W. (1950) *Die obere weiße Jura und die tiefste Unterkreide im Deutsch-Holländischen Grenzgebiet.* Geol. Jb. 65, p.213-270.

Schott, W., Jaritz, W., Kockel, F., Sames, C.-W., Stackelberg, U., Stets, J. & Stoppel, D. (1967a) *Zur Paläogeographie der Unterkreide im nördlichen Mitteleuropa mit Detailstudien aus Nordwestdeutschland. Bemerkungen zu einem Atlas.* Erdöl Kohle 20, p.149-158.

Schott, W., Jaritz, W., Kockel, F., Sames, C.-W., Stackelberg, U., Stets, J. & Stoppel, D. (1967b) *Paläogeographischer Atlas der Unterkreide von Nordwestdeutschland mit einem Übersichtsdastellung des nördlichen Mitteleuropa.* Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover.

Schuster, A. (1962) *Das Stefan in der Bohrung Wielen Z1.* Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf. 3, p.1097-1108.

Selter, V. (1990) *Sedimentologie und Klima-entwicklung im Westfal C/D und Stefan des nord-westdeutschen Oberkarbon-Beckens.* DGMK-Bericht 384-4, Hamburg, 311pp.

Sørensen, S. & Martinsen, B.B. (1987) *A paleo-geographic reconstruction of the Rotliegend deposits in the Northeastern Permian Basin.* In: Brooks, K. & Glennie, K. (eds) *Petroleum geology of North West Europe*, Graham & Trotman, p.497-508.

Stancu-Kristoff, G. & Stehn, O. (1984) *Ein großregionaler Schnitt durch das nordwest-deutsche Oberkarbon-Becken vom Ruhrgebied bis in der Nordsee.* Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf. Bd. 32, p.35-38.

Tantow, M.S. (1992) *Structural development of inversion-related oil and gas fields, Emsland, NW Germany.* In: Spencer, A.M. (ed.) *Generation, accumulation and Production of Europe's Hydrocarbons,* Spec. Publ. E.A.P.G., No. 2, Springer, Berlin, p.77-84.

Tantow, M.S. (1993) *Stratigraphie und seismisches Erscheinungsbild des Oberkarbons (Westfal, Stefan), Emsland.* Berliner geowiss. Abh. 148, 66pp.

Taylor, J.C.M. (1998) *Upper Permian - Zechstein.* In: Glennie, K.W. (ed.) *Petroleum Geology of the North Sea*, Fourth Edition, Blackwell Science, p.174-212.

Thieme, B. & Rockenbauch, K. (1999) *Floßtektonik ('rift-raft tectonics') in der Trias der Südlichen Nordsee.* DGMK-Tagungsbericht 9901, p.65-79.

't Hart, B.B. (1969) *Die Oberjura- und Unterkreide Sedimentation in den nördlichen und östlichen Niederlanden.* Erdöl und Kohle-Erdgas-Petrochemie.22, p.253-261.

Teichmüller, M., Teichmüller, R. & Bartenstein, H. (1984): *Inkohlung und Erdgas - eine neue Inkohlungskarte der Karbon-Oberfläche in Nordwestdeutschland.* Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. 32, p.11 – 34.

Thiadens, A.A. (1963) *The Paleozoic of the Netherlands.* Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen. 21(1), p.9-28.

Trusheim, F. (1963) *Mechanism of salt migration.* AAPG Bull. 44, p.1519-1540.

Van Adrichem Boogaert, H.A. & Kouwe, W.F.P. (1993-1997) *Stratigraphic nomenclature of the Netherlands, revision and update by RGD and NOGEPA.* Meded. Rijks Geol. Dienst 50.

Van de Sande, J.M.M., T.J.A. Reijers & N. Casson (1996) *Multidisciplinary exploration strategy in the Northeast Netherlands Zechstein 2 Carbonate play, guided by 3D seismic.* In: Rondeel, H.R., D.A.J. Batjes & W.H. Nieuwenhuijs (eds): *Geology of Gas and Oil under the Netherlands,* Kluwer Acad. Publ. Dordrecht, p.125-142.

Van der Baan, D. (1990) *Zechstein reservoirs in The Netherlands.* In: Brooks, J. (ed.) Classic Petroleum Provinces, Geol. Soc. Spec. Publ. 50, p.379-398.

Van der Meer, M. & Pagnier, H.J.M. (1996) *The sediment petrography of sandstone bodies of borehole 'De Lutte 6' (East Twente, the Netherlands) and its regional significance.* Meded. Rijks Geol. Dienst 55, p.31-60.

Van der Zwan, C.J., Van de Laar, J.G.M., Pagnier, H.J.M. & Van Amerom, H.W.J.(1993) *Palynological, ecological and climatological synthesis of the Upper Carboniferous of the well De Lutte-6 (eastern Netherlands).* Comptes Rendus XII ICC-P, Buenos Aires, vol. 1, p.167-186.

Van Rossum, B. (1978) *Geology and appraisal development of the Groningen Field.* European Petroleum and Gas Conference, RAI Amsterdan, May 23-25.

Van Tongeren, P.C.H. (1996) *The Gronau Fault Zone: its tectonic setting and relation to the formation of the Ems Graben and to the Late Carboniferous sedimentation in Twente (the Netherlands).* Meded. Rijks Geol. Dienst 55, p.107-145.

Van Wijhe, D.H. & Bless, M.J.M. (1974) *The Westphalian of The Netherlands with special reference to miospore assemblages.* Geol. Mijnbouw 53, p.295-328.

Van Wijhe, D.H., Lutz, M. & Kaasschieter, J.P.H. (1980) *The Rotliegend in The Netherlands and its gas accumulations.* Geol. Mijnbouw 59, p.3-24.

Veenhof, E.N. (1996) *Geological aspects of the Annerveen gas field, the Netherlands.* In: Rondeel, H.E., Batjes, D.A.J.& Nieuwenhuijs, W.H. (eds), *Geology of Gas and Oil under the Netherlands,* Kluwer, Dordrecht, p.79-92.

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.

Voigt, E. (1963) *Über Randtröge vor Schollenrändern und ihre Bedeutung ins Gebiet der Mitteleuropäische Senke und angrenzender Gebiete.* Z. dt. geol. Ges. 114, p.378-418.

Wagner, R. (1994) *Stratygrafia osadów i roswój basenu Cechsztynskiego na nizu Polskim.* Prace Panstwowego Instytutu Geologicznego, CXLVI, Warszawa, 71pp. (Stratigraphy and evolution of the Zechstein basin in the Polish Lowlands).

Wolburg, J. (1949) *Ergebnisse der Biostratigraphie nach Ostracoden im Nordwestdeutschen Wealden.* Erdöl und Tektonik in NW-Deutschland, p.349-360.

Wolburg, J. (1961) *Sedimentations Zyklen und Stratigraphie des Buntsandsteins in NW-Deutschland.* Geotekt. Forsch. 14, p.7-74.

Wolburg, J. (1967) *Zur Wesen der Altkimmerische Hebung, mit einem Überblick über die Muschelkalk und Keuper-Entwicklung in Nordwest-Deutschland.* Z. dt. geol. Ges. 119, p.516-523.

Wolburg, J. (1969) *Die epirogene Phasen der Muschelkalk und Keuper-Entwicklung in Nordwest-Deutschland, mit einem Rückblick auf den Buntsandstein.* Geotekt. Forsch. 32, p.1-65.

Zagwijn, W.H. (1989) *The Netherlands during the Tertiary and Quaternary: a case history of Coastal Lowlands evolution.* Geol. Mijnbouw 68, p.107-121.

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., 30 plates.

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 Internationale Petroleum Maatschappij BV, 239pp, 56 encl..

NITG 1997a, Rijkers, R.H.B. & Van Doorn, Th.H.M. *Atlas of Geothermal Resources in the European Community,* The Netherlands. NITG 97-024-A.

NITG 1997b, Remmelts G. *Gebruiksmogelijkheden van de Diepe Ondergrond van Nederland.* NITG 97-223-B.

RGD, 1990, Schuurman, H.A. *Stratigrafische interpretatie van het kerntraject in boring Vlagtwedde-1.* Micropal. Mes. 345A.

RGD 1994a, Munsterman, D.K. & Herngreen, G.F.W. *De resultaten van het palynologisch onderzoek naar de ouderdom en het afzettingsmilieu van de kernen uit de boring (WES-1) Westerbork-1, traject 1080-1497.5 m.* Palyn. Mes. 2291.

RGD 1994b, Munsterman, D.K. & Herngreen, G.F.W. *De resultaten van het palynologisch onderzoek naar de ouderdom en het afzettingsmilieu van de kernen uit boring EMM-5 (Emmen-5), traject 993.55-1141.7m.* Palyn. Mes. 2292.

RGD 1994c, Lissenberg, Th. *Biostratigrafische interpretatie (revisie) van het Onder Krijt/Jura traject van boring RUI-1 (Ruinen-1).* Micropal. Mes. 006a.

RGD 1994d, Lissenberg, Th. *Biostratigrafische interpretatie (revisie) van het Onder Krijt/Jura traject van boring VLW-1 (Vlagtwedde-1).* Micropal. Mes. 345/B.

RGD 1994e, Lissenberg Th. *Biostratigrafische interpretatie van het traject van 855 m t/m 1892 m van boring SCH-197 (Schoonebeek-197).* Micropal. Mes. 539.

RGD 1995a, Munsterman, D.K. & Herngreen, G.F.W. *De resultaten van het palynologisch onderzoek naar de ouderdom van de kernen uit boring De Wijk-5, traject 1238-1282 m.* Palyn. Mes. 2303.

RGD 1995b, Munsterman, D.K. & Herngreen, G.F.W. *De resultaten van het palynologisch onderzoek naar de ouderdom van de top (op 956,5 m) van de kern uit de Gildehaus Sandstone Member in boring Ruinen-1.* Palyn. Mes. 2012B.

RGD 1995c, Lissenberg, Th. *Biostratigrafische interpretatie van een Onder-Krijt traject (1179 - 1261 m) van boring EMM-2 (Emmen-2).* Micropal. Mes. 622.

RGD 1995d, Van Tuijl, A.E. *Biostratigrafische interpretatie van het Boven-Krijt traject van boring VLW-1 (Vlagtwedde-1).* Micropal. Mes. 345C.

Colofon

Geologische kaarten:

De kaarten zijn samengesteld door
W. Apon
E.J.Th. Duin
J. Klijn
C.M. Elmers-Kathmann
C.C. de Ruyter
M.C. Geluk

Vormgeving
R.M. Metten

Druk
Boom Planeta de Grafische, Haarlem

Toelichting:

De toelichting is geschreven door
M.C. Geluk
P. David
R.H.B. Rijkers
A.F.B. Wildenborg

Assistentie
N. Witmans

Figuren
J.J.M. Houkes

Redactionele ondersteuning
F.R. Bianchi
Th.E. Wong
G.F.W. Herngreen

Speciale studies:

Petrofysica
N.G. Neele
J.R.R. Ramaekers

Organische geochemie
L.F. Jegers
P. David
H. Veld

Biostratigrafie
G.F.W. Herngreen
D.K. Munsterman
S.J. Kerstholt-Boegehold
J.G.M. van de Laar
Th. Lissenberg

DTP
TNO-NITG Han Bruinenberg

Druk
Plantijn Casparie Rotterdam

Algehele leiding:

H.J.M. Pagnier

Copyright (c) 2000
Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Utrecht

Behoudens uitzondering door de Wet gesteld mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbende(n) op het auteursrecht niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd 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 90-6743-681-X

TNO-NITG, 2000 - Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland,
Toelichting bij Kaartblad VI: Veendam-Hoogeveen.

Deze publikatie is eveneens verkrijgbaar in een Engelstalige versie, ISBN 90-6743-682-8.
This publication is also available in English, ISBN 90-6743-682-8


I
II
III
IV
V
VI
VII
VIII
IX
X
XI
XII
XIII
XIV
XV