

# **Toelichting bij kaartblad IX Harderwijk-Nijmegen**





# **Toelichting bij kaartblad IX Harderwijk-Nijmegen**

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Utrecht 2004

***Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland***



Lakprofiel van een vorstwig uit het Weichselien, Laat-Pleistoceen  
Foto TNO-NITG







Voorwoord

|          |                                             |           |
|----------|---------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Opzet van het onderzoek</b>              | <b>11</b> |
| 1.1      | Begrenzing van het studiegebied             | 11        |
| 1.2      | Gegevensbestand                             | 11        |
| 1.3      | Geologisch onderzoek                        | 12        |
| 1.4      | Seismische kartering                        | 12        |
| 1.5      | Biostratigrafisch onderzoek                 | 15        |
| 1.6      | Kaarten en profielen                        | 16        |
| 1.7      | Toelichting                                 | 16        |
| <b>2</b> | <b>Exploratiegeschiedenis</b>               | <b>18</b> |
| 2.1      | Inleiding                                   | 18        |
| 2.2      | Koolwaterstoffen                            | 18        |
| 2.3      | Steenkool                                   | 18        |
| 2.4      | Thermaal water                              | 19        |
| <b>3</b> | <b>Structureel raamwerk</b>                 | <b>20</b> |
| <b>4</b> | <b>Limburg Groep</b>                        | <b>24</b> |
| 4.1      | Stratigrafie                                | 24        |
| 4.1.1    | Geul Subgroep                               | 26        |
| 4.1.1.1  | Epen Formatie                               | 27        |
| 4.1.2    | Caumer Subgroep                             | 27        |
| 4.1.2.1  | Baarlo Formatie                             | 27        |
| 4.1.2.2  | Ruurlo Formatie                             | 28        |
| 4.1.2.3  | Maurits Formatie                            | 29        |
| 4.1.3    | Dinkel Subgroep                             | 29        |
| 4.1.3.1  | Tubbergen Formatie                          | 29        |
| 4.1.3.2  | Hellevoetsluis Formatie                     | 30        |
| 4.1.4    | Hunze Subgroep                              | 30        |
| 4.1.4.1  | Strijen Formatie                            | 30        |
| 4.2      | Vulkanieten                                 | 30        |
| 4.3      | Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie | 30        |
| <b>5</b> | <b>Boven-Rotliegend Groep</b>               | <b>32</b> |
| 5.1      | Stratigrafie                                | 32        |
| 5.1.1    | Slochteren Formatie                         | 32        |
| 5.2      | Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie | 33        |
| <b>6</b> | <b>Zechstein Groep</b>                      | <b>36</b> |
| 6.1      | Stratigrafie                                | 36        |
| 6.1.1    | Z1 (Werra) Formatie                         | 37        |
| 6.1.2    | Z2 (Stassfurt) Formatie                     | 37        |
| 6.1.3    | Z3 (Leine) Formatie                         | 39        |
| 6.1.4    | Z4 (Aller) Formatie                         | 39        |
| 6.1.5    | Zechstein Boven-Kleistein Formatie          | 40        |
| 6.2      | Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie | 42        |



|           |                                              |           |
|-----------|----------------------------------------------|-----------|
| <b>7</b>  | <b>Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep</b> | <b>43</b> |
| 7.1       | Algemeen                                     | 44        |
| 7.2       | Onder-Germaanse Trias Groep                  | 44        |
| 7.2.1     | Stratigrafie                                 | 44        |
| 7.2.2     | Onder-Bontzandsteen Formatie                 | 44        |
| 7.2.3     | Hoofd-Bontzandsteen Subgroep                 | 47        |
| 7.2.3.1   | Volpriehausen Formatie                       | 48        |
| 7.2.3.2   | Detfurth Formatie                            | 49        |
| 7.2.3.3   | Hardeggen Formatie                           | 49        |
| 7.3       | Boven-Germaanse Trias Groep                  | 49        |
| 7.3.1     | Stratigrafie                                 | 49        |
| 7.3.2     | Solling Formatie                             | 52        |
| 7.3.3     | Röt Formatie                                 | 52        |
| 7.3.4     | Muschelkalk Formatie                         | 54        |
| 7.3.5     | Keuper Formatie                              | 55        |
| 7.4       | Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie  | 55        |
| <b>8</b>  | <b>Altena Groep</b>                          | <b>57</b> |
| 8.1       | Stratigrafie                                 | 57        |
| 8.1.1     | Sleen Formatie                               | 57        |
| 8.1.2     | Aalburg Formatie                             | 57        |
| 8.1.3     | Posidonia Schalie Formatie                   | 57        |
| 8.1.4     | Werkendam Formatie                           | 60        |
| 8.2       | Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie  | 61        |
| <b>9</b>  | <b>Schieland en Nedersaksen Groep</b>        | <b>63</b> |
| 9.1       | Algemeen                                     | 63        |
| 9.2       | Schieland Groep                              | 64        |
| 9.2.1     | Stratigrafie                                 | 64        |
| 9.2.1.1   | Zurich Formatie                              | 64        |
| 9.3       | Nedersaksen Groep                            | 64        |
| 9.3.1     | Stratigrafie                                 | 64        |
| 9.3.1.1   | Weiteveen Formatie                           | 64        |
| 9.3.1.2   | Coevorden Formatie                           | 64        |
| 9.4       | Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie  | 65        |
| <b>10</b> | <b>Rijnland Groep</b>                        | <b>67</b> |
| 10.1      | Stratigrafie                                 | 67        |
| 10.1.1    | Vlieland subgroep                            | 68        |
| 10.1.2    | Holland Formatie                             | 69        |
| 10.2      | Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie  | 71        |
| <b>11</b> | <b>Krijtkalk Groep</b>                       | <b>72</b> |
| 11.1      | Stratigrafie                                 | 72        |
| 11.1.1    | Texel Formatie                               | 73        |
| 11.1.2    | Ommelanden Formatie                          | 73        |
| 11.1.3    | Formatie van Houthem                         | 75        |
| 11.2      | Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie  | 75        |



|           |                                                      |           |
|-----------|------------------------------------------------------|-----------|
| <b>12</b> | <b>Noordzee Supergroep</b>                           | <b>77</b> |
| 12.1      | Stratigrafie                                         | 77        |
| 12.1.1    | Onder-Noordzee Groep                                 | 77        |
| 12.1.1.1  | Formatie van Landen                                  | 77        |
| 12.1.1.2  | Formatie van Dongen                                  | 81        |
| 12.1.2    | Midden-Noordzee Groep                                | 81        |
| 12.1.2.1  | Rupel Formatie                                       | 81        |
| 12.1.2.2  | Formatie van Veldhoven                               | 82        |
| 12.1.3    | Boven-Noordzee Groep                                 | 83        |
| 12.1.3.1  | Formatie van Breda                                   | 84        |
| 12.1.3.2  | Formatie van Oosterhout                              | 84        |
| 12.1.3.3  | Formatie van Peize                                   | 84        |
| 12.1.3.4  | Kiezeloöliet Formatie                                | 84        |
| 12.1.3.5  | Formatie van Maassluis                               | 84        |
| 12.2      | Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie          | 84        |
| <b>13</b> | <b>Geologische geschiedenis</b>                      | <b>86</b> |
| 13.1      | Inleiding                                            | 86        |
| 13.2      | Bekkenontwikkeling, sedimentatie en tektoniek        | 87        |
| 13.2.1    | Carboon                                              | 87        |
| 13.2.2    | Perm                                                 | 89        |
| 13.2.3    | Trias                                                | 90        |
| 13.2.4    | Jura                                                 | 91        |
| 13.2.5    | Krijt                                                | 93        |
| 13.2.6    | Kenozoicum                                           | 95        |
| 13.2.6.1  | Neotektoniek en glaciële morfologie                  | 96        |
| <b>14</b> | <b>Toegepaste geologie</b>                           | <b>99</b> |
| 14.1      | Inleiding                                            | 99        |
| 14.2      | Petroleumsystemen                                    | 99        |
| 14.2.1    | Inleiding                                            | 99        |
| 14.2.2    | Moedergesteenten                                     | 99        |
| 14.2.3    | Migratieroutes                                       | 101       |
| 14.2.4    | Potentiële reservoirs                                | 102       |
| 14.2.5    | Afsluitende lagen                                    | 102       |
| 14.2.6    | Timing                                               | 102       |
| 14.2.7    | Synthese                                             | 103       |
| 14.3      | Hydrogeologie                                        | 103       |
| 14.3.1    | Inleiding                                            | 103       |
| 14.3.2    | Hydrogeologie en belangrijke watervoerende pakketten | 104       |
| 14.3.3    | Verdeling van zoet en zout grondwater                | 106       |
| 14.3.4    | Regionale grondwatersystemen                         | 108       |
| 14.4      | Thermaal water                                       | 108       |
| 14.4.1    | Inleiding                                            | 108       |
| 14.4.2    | Thermaal bad Sanadome; water uit Vroeg-Tertiair      | 109       |
| 14.5      | Vertech boring                                       | 109       |
| 14.5.1    | Inleiding                                            | 109       |
| 14.5.2    | Natte oxidatieproces                                 | 109       |
| 14.5.3    | Reactor                                              | 110       |



## **Appendices**

Appendix A: Overzicht gebruikte seismiek

Appendix B: Overzicht gebruikte boringen

## **Referenties**

Literatuurreferenties

Interne rapporten

Colofon

## **Kaarten en profielen**

Kaart 1 Diepte van de basis van de Boven-Rotliegend Groep

Kaart 2 Diepte van de basis van de Zechstein Groep

Kaart 3 Dikte van de Zechstein Groep

Kaart 4 Diepte van de basis van de Onder-Germaanse Trias Groep

Kaart 5 Dikte van de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep

Kaart 6 Diepte van de basis van de Altena Groep

Kaart 7 Dikte van de Altena Groep

Kaart 8 Diepte van de basis van de Schieland en Nedersaksen Groep

Kaart 9 Dikte van de Schieland en Nedersaksen Groep

Kaart 10 Diepte van de basis van de Rijnland Groep

Kaart 11 Dikte van de Rijnland Groep

Kaart 12 Diepte van de basis van de Krijtkalk Groep

Kaart 13 Dikte van de Krijtkalk Groep

Kaart 14 Diepte van de basis van de Noordzee Supergroep

Kaart 15 Diepte van de basis van de Boven-Noordzee Groep

Kaart 16 Afgedekte geologische kaart onder de basis van de Schieland en Nedersaksen Groep

Kaart 17 Afgedekte geologische kaart onder de basis van de Rijnland Groep

Kaart 18 Afgedekte geologische kaart onder de basis van de Noordzee Supergroep

Kaart 19 Structurele profielen





Het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO voltooit met de publicatie van het kaartblad IX de Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland. Met deze serie zijn unieke kaarten van de diepe ondergrond van Nederland ter beschikking gekomen, waar vanuit inzicht kan worden verkregen in de gebruiksmogelijkheden hiervan. Door de brede regionaal-geologische kennis van de diepe ondergrond van Nederland en de omringende landen geeft het TNO-NITG aan dit product een duidelijke meerwaarde, die boven een routinematige kartering uitgaat.

Dat het publiek beschikbaar maken van de kennis betreffende de diepe geologie (dieper dan 500 m) slechts in beperkte mate plaats vond, heeft alles te maken met de status van de benodigde gegevens. De mijnwetgeving die tot 2003 voor het Nederlandse Territoir van toepassing was, liet vrijgave van deze confidentiële gegevens niet toe.

Met ingang van 1 januari 2003 is de nieuwe Mijnbouwwetgeving van toepassing, die voorziet in vrijgave na 5 jaar. Gegevens van het Nederlands Territoir ouder dan 10 jaar zijn eveneens onmiddellijk opvraagbaar en voor gegevens uit de periode die daartussen ligt is een overgangsregeling van kracht.

Het kaartblad Harderwijk-Nijmegen van de Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland is het vijftiende en laatste kaartblad dat wordt uitgebracht in het kader van een 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). Ieder kaartblad heeft zijn eigen karakteristieken. Het hier gepresenteerde blad toont de geologie van een groot deel van de provincie Gelderland en verder delen van de provincies Overijssel, Noord-Brabant, Utrecht en Flevoland. Kaarten en toelichting laten zien dat dit gebied letterlijk een zeer bewogen geologische geschiedenis achter de rug heeft. Gedurende een groot deel van deze geschiedenis kenmerkte het gebied zich door een continue daling, waarbij dikke pakketten mariene en continentale sedimenten werden afgezet. Een ommekeer in de bewegingsrichting zorgde aan het eind van het Krijt voor sterke opheffing en erosie van de sedimenten van de oorspronkelijke dalingsgebieden. De oorspronkelijk stabiele hogen werden nu dalingsgebieden waar dikke krijtkalkpakketten zijn afgezet.

De tekst bestaat in grote lijnen uit drie delen. In het eerste deel wordt de opzet van het onderzoek uiteengezet (hoofdstuk 1), waarna de exploratiegeschiedenis in het kaartblad wordt behandeld (hoofdstuk 2) gevolgd door het structurele raamwerk (hoofdstuk 3). Hierna volgt het tweede deel met een lithostratigrafische beschrijving van de gesteentevoorkomens (hoofdstukken 4 - 12) en de geologische geschiedenis van het kaartbladgebied (hoofdstuk 13). 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 worden gerelateerd aan het structurele raamwerk in het kaartbladgebied. Per hoofdstuk wordt een paragraaf gewijd aan het afzettingsmilieu en de paleogeografie. In het derde deel (hoofdstuk 14) wordt aandacht besteed aan diverse toepassingsaspecten, zoals koolpetrografie, hydrogeologie, thermaal water en slibverwerking met de Vartech-methode.

Het TNO-NITG spreekt de verwachting uit dat dit kaartblad, samen met de reeds uitgebrachte kaartbladen en de tegelijkertijd te verschijnen "Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland - *onshore*", waarin een compilatie van de 15 verschenen kaartbladen bijeen is gebracht, een bijdrage kunnen leveren aan een beter 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. De geproduceerde kaarten zijn ook digitaal te bekijken. Hiertoe heeft het TNO-NITG een 3D viewer ontwikkeld waarmee de kaarten in drie dimensies kunnen worden aanschouwd (zie: <http://dinoloket.nitg.tno.nl>).



Naast de in het colofon genoemde medewerkers, die inhoudelijk verantwoordelijk zijn voor dit kaartblad, zijn bij het tot stand komen ervan nog vele andere medewerkers van het TNO-NITG betrokken geweest. Hun inzet wordt zeer op prijs gesteld. Met Dr. K.-H. Ribbert van de Geologische Dienst Nordrhein-Westfalen is overleg geweest over de tektonische geschiedenis van het aangrenzende deel van Duitsland. Speciale dank zijn wij verschuldigd aan de maatschappijen waarvan exploratiegegevens voor deze kartering zijn gebruikt.

Utrecht, november 2004

# 1 Opzet van het onderzoek

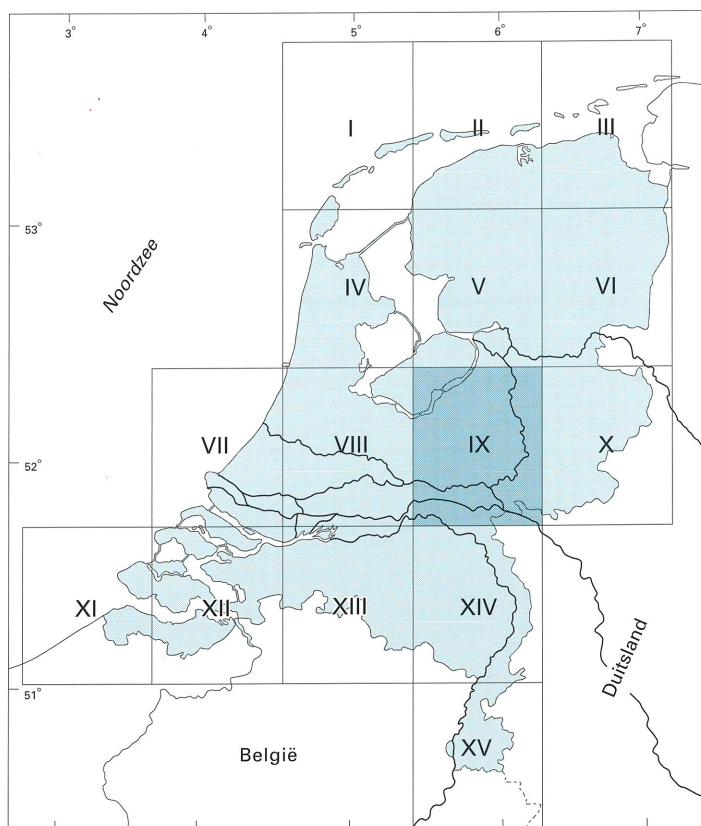
## 1.1 Begrenzing van het studiegebied

Het gebied van kaartblad IX (Harderwijk-Nijmegen) van de Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland omvat een groot deel van de provincie Gelderland en verder delen van de provincies Overijssel, Noord-Brabant, Utrecht en Flevoland. In het zuidoosten grenst het kaartbladgebied aan Duitsland (fig. 1.1).

## 1.2 Gegevensbestand

Voor de kartering is gebruik gemaakt van door de industrie verzamelde seismische en boorgegevens. Voor het kaartbladgebied is overwegend 2D seismiek gebruikt. Tevens is in het oosten van het kaartblad 3D seismiek gebruikt (fig. 1.2; Appendix B). In totaal zijn in het kaartbladgebied 23 boringen uitgevoerd die alle geselecteerd zijn voor de kartering, alsmede 14 boringen in de directe nabijheid van dit gebied (fig. 1.3).

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



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



### 1.3 Geologisch onderzoek

Het onderzoek richtte zich op de lithostratigrafische opbouw van de binnen het kaartbladgebied aanwezige sedimenten (fig. 1.4) en hun geologische geschiedenis, geplaatst in de regionaal geologische context. Hierbij werd gebruik gemaakt van de eerder genoemde seismische gegevens en boringen. De onderscheiden gesteentegroepen, die zijn vermeld in figuur 1.4, worden per hoofdstuk nader besproken. In deze toelichting is de geologische tijdschaal van Harland gebruikt (Harland et al., 1990).

### 1.4 Seismische kartering

Bij de kartering is gebruik gemaakt van alle beschikbare seismiek. Deze seismiek is tussen 1965 en 1996 geschoten. Het grootste deel van het kaartbladgebied is bedekt met een wijdmazig grid van 2D seismiek. Slechts in het oostelijk deel van het kaartbladgebied was een 3D survey beschikbaar (fig. 1.2, Appendix A). De kwaliteit van de 2D seismiek is variabel: in het centrale deel, op de Veluwe, en in het zuidelijke rivierengebied was alleen seismiek van slechte kwaliteit uit de jaren zestig beschikbaar, terwijl in andere gedeelten seismiek van goede kwaliteit uit de jaren zeventig en tachtig kon worden gebruikt. Het merendeel van de beschikbare 2D seismiek is geïnterpreteerd, een klein gedeelte is alleen gebruikt om breuklocaties en subcrops te bepalen. In totaal is ongeveer 350 km<sup>2</sup> 3D seismiek en bijna 2000 km 2D seismiek geïnterpreteerd.

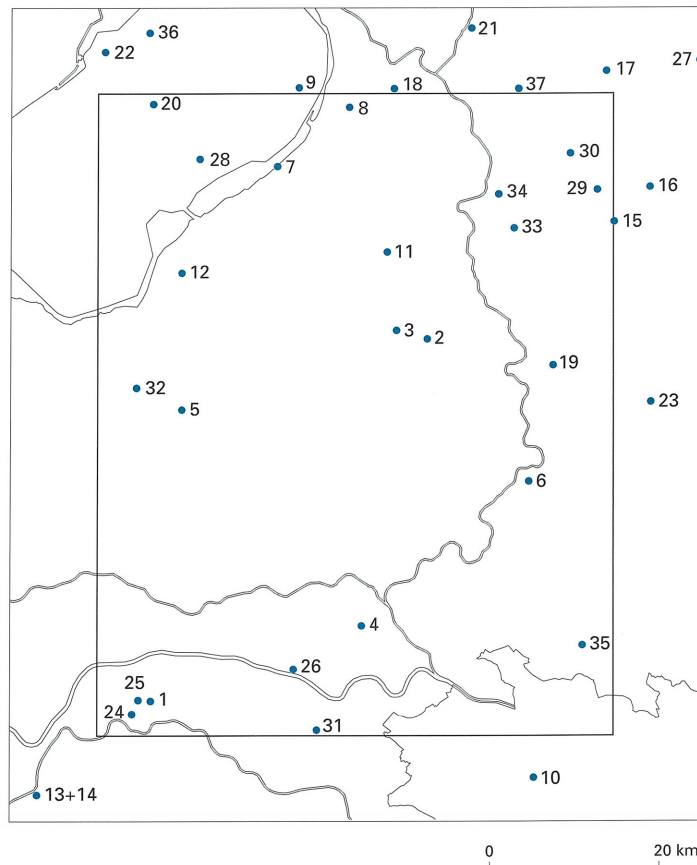
*Figuur 1.2* Locatiekaart van de voor de kartering gebruikte seismische lijnen. Appendix A geeft informatie omtrent de ouderdom en eigenaar van de verschillende surveys.



De gekarteerde reflectoren vormen de grensvlakken tussen de lithostratigrafische eenheden (groepen en formaties). Calibratie van de seismische gegevens aan een aantal boringen 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 1.1).

Om een goede aansluiting tussen aangrenzende kaartbladen te krijgen is aanvankelijk een landelijke seismische snelheidsverdeling gemaakt die voor alle kaartbladen van de Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland zou worden toegepast. De parameters van deze landelijke snelheidsverdeling zijn bepaald uit de akoestische gegevens van 61 representatieve boringen die over heel Nederland verspreid liggen. Echter, vooral in de geïnverteerde gebieden, leidde toepassing van deze snelheidsverdeling tot grote afwijkingen in de dieptes van de basis van de Rijnland, de Altona en de Onder-Germaanse Trias Groep. Dit was aanleiding om de landelijke snelheidsverdeling te herzien. Uit akoestische gegevens van meer dan 600 boringen van het Nederlandse Territoir is een gebiedsafhankelijke snelheidsverdeling gemaakt (TNO-NITG, 2001). Voor het kaartbladgebied resulteerde dit in de snelheidsverdeling zoals vermeld in tabel 1.1. Doordat een deel van de aangrenzende kaartbladen V en X destijds met een andere snelheidsverdeling was uitgevoerd, waren nabij die kaartbladgrenzen kleine correcties in de diepte- en diktekaarten noodzakelijk.

*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.

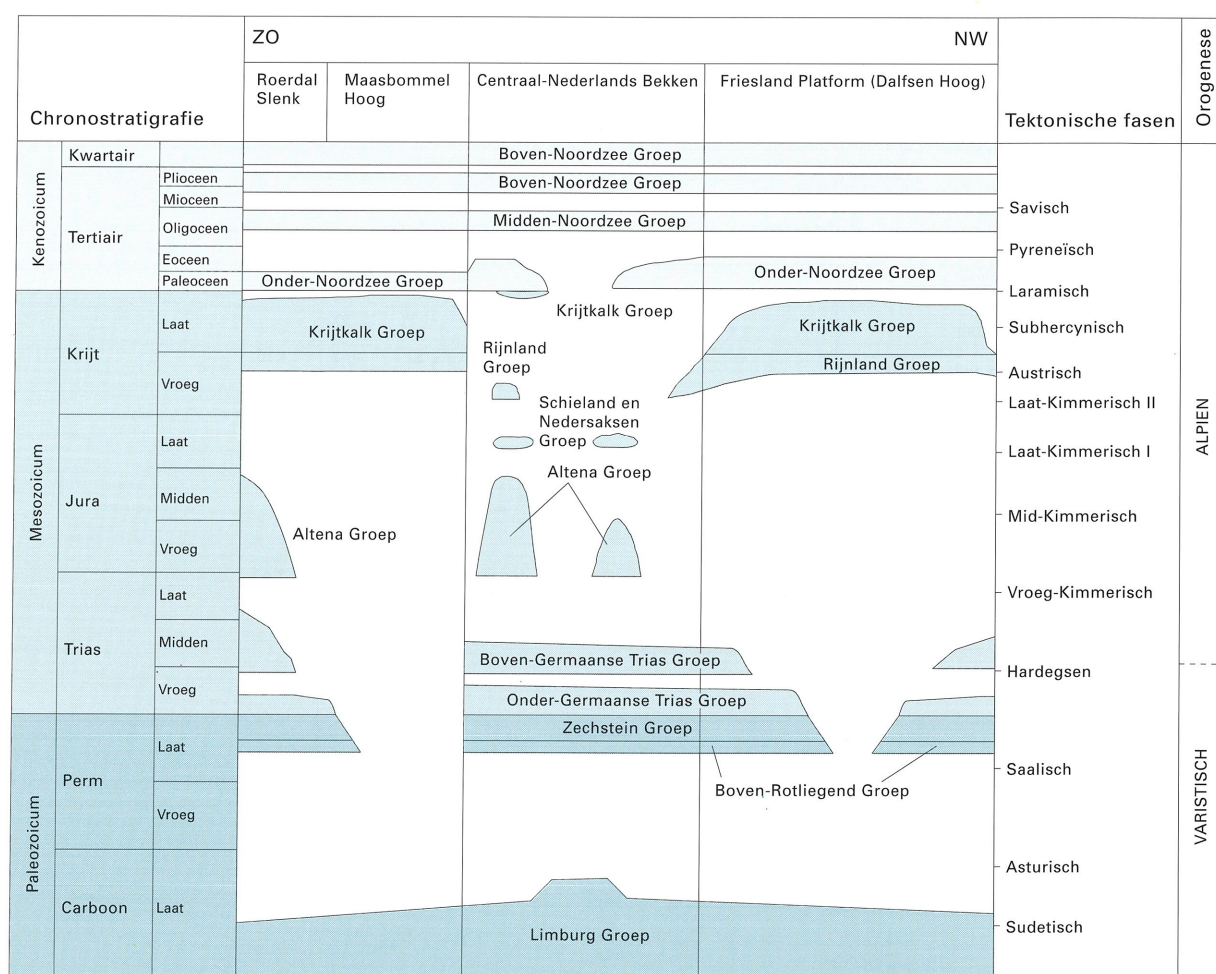




De geïnterpreteerde seismische horizons zijn de ondergrenzen van lithostratigrafische groepen, t.w. de Boven-Noordzee Groep, de Noordzee Supergroep, de Krijtkalk, de Rijnland, de Schieland, de Altena, de Onder- en Boven Germaanse Trias en Zechstein Groep (fig.1.4).

De Boven-Noordzee Groep is de jongste seismische eenheid en wordt net als de Onder- en de Midden-Noordzee Groep gekarakteriseerd door hoge-amplitude continue reflecties. Verder komen vooral binnen de Midden-Noordzee Groep eenheden voor met tal van kleine breuken. De basis van de Noordzee Supergroep is in het gehele kaartbladgebied door een hoge-amplitude reflectie en een goede laterale continuïteit goed te herkennen.

De basis van Krijtkalk Groep is een duidelijke reflector. Binnen de Krijtkalk Groep zelf komen vrijwel geen continue reflecties voor. In het zuidwestelijk deel van het kaartbladgebied bestaat de Rijnland Groep voornamelijk uit de Holland Formatie. In deze formatie zijn enkele hoge-amplitude reflecties prominent aanwezig. De Vlieland subgroep is hier slechts lokaal en dun ontwikkeld. Zowel in het zuid-westen als het noordoosten vertonen de afzettingen onder de basis van de Rijnland Groep een duidelijke



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

**Tabel 1.1 Toegepaste snelheidsverdelingen**

De gehanteerde snelheidsverdeling is gebaseerd op  $V_z = V_0 + k \cdot z$

$V_z$ : gemiddelde snelheid op diepte  $z$  (m/s)

$V_0$ : theoretische snelheid op diepte  $z=0$  (m/s)

$k$ : specifieke constante (1/s)

$z$ : diepte (m)

| Eenheid                               | $V_0$ | $k$  |
|---------------------------------------|-------|------|
| Noordzee Supergroep                   | 1696  | 0,47 |
| Krijtkalk Groep                       | 2156  | 1,03 |
| Rijnland Groep                        | 2026  | 0,73 |
| Schieland en Nedersaksen Groep        | 2770  | 0,53 |
| Altena Groep                          | 2451  | 0,44 |
| Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep | 3097  | 0,47 |
| Limburg Groep                         | 3443  | 0,25 |

hoekdiscordantie. De Rijnland sedimenten in het centrale deel van het kaartbladgebied zijn moeilijk te herkennen en liggen concordant op de Schieland Groep.

De basis van de lokaal aanwezige Schieland en Nedersaksen Groep is moeilijk, soms als een hoekdiscordantie, te herkennen. Binnen deze groep komen nagenoeg geen coherente reflecties voor.

In de Altena Groep zijn alleen op lokale schaal coherente reflecties te onderscheiden. De Posidonia Schalie Formatie, die vaak als prominente reflector op de seismiek te herkennen is, komt lokaal in slenken het kaartbladgebied voor (fig. 3.2 & 8.4). De basis van de Altena Groep is vaak een sterke en continue reflector. In het centrale deel van het kaartbladgebied ligt deze reflector echter diep en is moeilijk te herkennen ten gevolge van de sterke verbreking.

De Onder-Germaanse Trias Groep is nagenoeg transparant, terwijl de Boven-Germaanse Trias Groep meer continue reflecties bevat. De basis van de groep is als een continue reflectie vaak redelijk tot goed herkenbaar.

In het noorden van het kaartbladgebied kan de basis van de Zechstein Groep redelijk nauwkeurig geïnterpreteerd worden. Lokaal kunnen daar nog zoutstructuren voorkomen (fig. 3.2). In de zuidelijke helft van het kaartbladgebied is de Zechstein zo dun dat een betrouwbare interpretatie niet meer mogelijk is. Ook de Boven-Rotliegend Groep is in het zuiden en het oosten van het kaartbladgebied zo dun, dat ze niet met een redelijke mate van zekerheid op de seismiek kan worden geïnterpreteerd. De diktekaarten van de Zechstein Groep en Boven-Rotliegend Groep zijn dan ook hoofdzakelijk gebaseerd op gegevens van boringen en op kennis van de regionale geologie.

## 1.5 Biostratigrafisch onderzoek

Ter ondersteuning van het geologisch onderzoek is geput uit een grote hoeveelheid biostratigrafische studies (RGD, 1974; RGD, 1975; RGD, 1981; RGD, 1985; RGD, 1986a; RGD, 1987a,b; RGD, 1990; RGD, 1995; NITG-TNO, 1999; TNO-NITG, 2002a, b).



## 1.6 Kaarten en profielen

De resultaten van de kartering zijn op schaal 1:250.000 weergegeven in een serie diepte- en diktekaarten van de lithostratigrafische groepen, in afgedekte kaarten en in drie profielen (Kaarten 1 t/m 19). Een overzicht van deze groepen is weergegeven in fig.1.4.

Dieptekaarten zijn vervaardigd van de bases van de Boven-Rotliegend, de Zechstein, de Onder-Germaanse Trias, de Altena, de Schieland en Nedersaksen, de Rijnland en de Krijtkalk Groep, en van de Noordzee Supergroep en de Boven-Noordzee Groep. De kaart van de Zechstein Groep is gebaseerd op de kaart van de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep. Aan deze kaart is de dikte van de Zechstein Groep toegevoegd. De dikte waarden zijn gebaseerd op putgegevens en seismische interpretatie. De kaart van de Boven-Rotliegend Groep is op de zelfde wijze geconstrueerd. De dieptekaart van deze groep is gebaseerd op de basis van de Zechstein Groep, waaraan de dikte van de Boven-Rotliegend Groep is toegevoegd.

Diktekaarten zijn gemaakt van de Zechstein, de Onder- en Boven-Germaanse Trias, de Altena, de Schieland en Nedersaksen, de Rijnland en de Krijtkalk Groep. Op de diepte- en diktekaarten worden alleen de boringen getoond die volledig het desbetreffende interval hebben doorboord.

Van de belangrijkste discordanties, aan de bases van de Schieland Groep, de Rijnland Groep en van de Noordzee Supergroep, zijn afgedekte kaarten gemaakt. Deze geven een indruk van de mate van erosie die vooraf ging aan de afzetting van deze groepen. Tenslotte zijn drie structurele profielen weergegeven (Kaart 19).

## 1.7 Toelichting

In de toelichting wordt de informatie, die de geologische kaarten en profielen bieden, gecompliceerd tot een zo volledig mogelijk beeld van de geologische opbouw en geschiedenis van het kaartbladgebied. In de hoofdstukken 4-12 wordt een beschrijving van de gesteente-opeenvolging gegeven. Hierin komen de lithostratigrafie en de sedimentaire ontwikkeling aan de orde. In hoofdstuk 13 wordt de geologische geschiedenis van het gebied behandeld. Dit betreft de bekkenontwikkeling en de gebeurtenissen in het kader van de regionale tektoniek. In het laatste deel (hoofdstuk 14) wordt speciale aandacht besteed aan diverse toegepaste geologische en andere aspecten zoals koolpetrografie, hydrogeologie, thermaal water en de slibverwerking met de Vartech methode.

Tenzij anders vermeld zijn de lithostratigrafische benamingen en hun ouderdom conform de "Stratigraphic nomenclature of the Netherlands, revision and update by RGD and NOGPA" (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993-1997). Bij de beschrijving van de lithostratigrafie is de nadruk gelegd op de variatie en verbreiding van de verschillende groepen, formaties en laagpakketten. Deze zijn vaak gerelateerd aan de structurele elementen van het kaartbladgebied, welke in hoofdstuk 3 staan beschreven. De geologische tijdtabel zoals in de toelichting gehanteerd en de belangrijkste tektonische fasen zijn weergegeven in figuur 1.5. Verwijzingen naar interne rapporten in de lopende tekst zijn cursief gedrukt.

De Kwartaire afzettingen worden in deze toelichting slechts kort beschreven. Een uitvoerige beschrijving hiervan is gepubliceerd in de Toelichtingen bij de Geologische kaart van Nederland 1:50.000, bladen Arnhem 40 Oost en Tiel 39 Oost en West (Rijks Geologische Dienst, resp. 1977 en 1984). Wel wordt in paragraaf 13.2.6.1 dieper ingegaan op de relatie tussen de oude breuksystemen, neotektoniek en glaciële landschapsvormen.

**Figuur 1.5** Geologische tijdtabel zoals in de toelichting gehanteerd, gebaseerd op Harland et al., 1990. Alle andere chronostratigrafische tijdtabelen in deze toelichting zijn hierop gebaseerd. De in de tekst genoemde tektonische fasen zijn in de figuur aangegeven.

| Tijd in milj. jaren | Hoofdtijdperk | Periode  | Tijdvak     | Tijd          | Tektonische fasen  | Orogenese  |
|---------------------|---------------|----------|-------------|---------------|--------------------|------------|
| 2,4                 | KENOZOICUM    | Kwartair | Neogeen     | Pliocene      | Savisch            | ALPIEN     |
|                     |               |          |             | Mioceen       | Pyreneisch         |            |
|                     |               | Tertiair | Oligoceen   | Rupelien      | Pyreneisch         |            |
|                     |               |          |             | Priabonien    | Pyreneisch         |            |
|                     |               |          | Eoceen      | Bartonien     | Pyreneisch         |            |
|                     |               |          |             | Lutetien      | Pyreneisch         |            |
|                     |               |          | Paleoceen   | Ypresien      | Pyreneisch         |            |
|                     |               |          |             | Thanetien     | Laramisch          |            |
|                     |               |          |             | Danien        | Laramisch          |            |
| 65                  |               |          |             |               |                    |            |
|                     | MESOZOICUM    | Krijt    | Laat-Krijt  | Maastrichtien | Subhercynisch      | ALPIEN     |
|                     |               |          |             | Campanien     | Subhercynisch      |            |
|                     |               |          |             | Santonien     | Subhercynisch      |            |
|                     |               |          | Vroeg-Krijt | Coniacien     | Subhercynisch      |            |
|                     |               |          |             | Turonien      | Subhercynisch      |            |
|                     |               |          |             | Cenomanien    | Subhercynisch      |            |
|                     |               | Jura     | Laat        | Albien        | Austrisch          |            |
|                     |               |          |             | Aptien        | Austrisch          |            |
|                     |               |          |             | Barremien     | Austrisch          |            |
|                     |               |          | Midden      | Hauterivien   | Laat-Kimmerisch II |            |
|                     |               |          |             | Valanginien   | Laat-Kimmerisch II |            |
|                     |               |          |             | Ryazanien     | Laat-Kimmerisch II |            |
|                     |               |          | Vroeg       | Portlandien   | Laat-Kimmerisch I  |            |
|                     |               |          |             | Kimmeridgien  | Laat-Kimmerisch I  |            |
|                     |               |          |             | Oxfordien     | Laat-Kimmerisch I  |            |
|                     |               |          | Laat        | Callovien     | Mid-Kimmerisch     |            |
|                     |               |          |             | Bathonien     | Mid-Kimmerisch     |            |
|                     |               |          |             | Bajocien      | Mid-Kimmerisch     |            |
| 143                 | MESOZOICUM    | Jura     | Midden      | Aalenien      | Mid-Kimmerisch     |            |
|                     |               |          |             | Toarcien      | Mid-Kimmerisch     |            |
|                     |               |          |             | Pliensbachien | Mid-Kimmerisch     |            |
|                     |               |          | Vroeg       | Sinemurien    | Mid-Kimmerisch     |            |
|                     |               |          |             | Hettangien    | Mid-Kimmerisch     |            |
|                     |               |          |             | Rhaetien      | Mid-Kimmerisch     |            |
|                     |               | Trias    | Laat        | Norien        | Vroeg-Kimmerisch   |            |
|                     |               |          |             | Carnien       | Vroeg-Kimmerisch   |            |
|                     |               |          |             | Ladinien      | Vroeg-Kimmerisch   |            |
|                     |               |          | Midden      | Anisien       | Hardeggen          |            |
|                     |               |          |             | Scythien      | Hardeggen          |            |
|                     |               |          |             | Bontzandsteen | Hardeggen          |            |
| 208                 | MESOZOICUM    | Trias    | Laat        | Thuringien    | Hardeggen          |            |
|                     |               |          |             | Saxonien      | Hardeggen          |            |
|                     |               |          |             | Autunien      | Hardeggen          |            |
|                     |               |          | Midden      | Stefanien     | Asturisch          | VARISTISCH |
|                     |               |          |             | Westfalien    | Asturisch          |            |
|                     |               |          |             | Namurien      | Sudetisch          |            |
|                     |               | Perm     | Laat        | Viseen        | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             | Tournaisien   | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          | Vroeg       |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
| 251                 | MESOZOICUM    | Perm     | Laat        |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          | Midden      |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               | Perm     | Laat        |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          | Midden      |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
| 286                 | MESOZOICUM    | Perm     | Laat        |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          | Midden      |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               | Perm     | Laat        |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          | Midden      |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
| 296                 | MESOZOICUM    | Perm     | Laat        |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          | Midden      |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               | Perm     | Laat        |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          | Midden      |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
| 363                 | MESOZOICUM    | Perm     | Laat        |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          | Midden      |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               | Perm     | Laat        |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          | Midden      |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |
|                     |               |          |             |               | Sudetisch          |            |

## 2 Exploratiegeschiedenis

### 2.1 Inleiding

In het kaartbladgebied is behalve exploratie naar koolwaterstoffen ook exploratie-onderzoek geweest naar steenkool en thermaal water. Bij Apeldoorn is een boring met een brede diameter gezet voor slibverwerking.

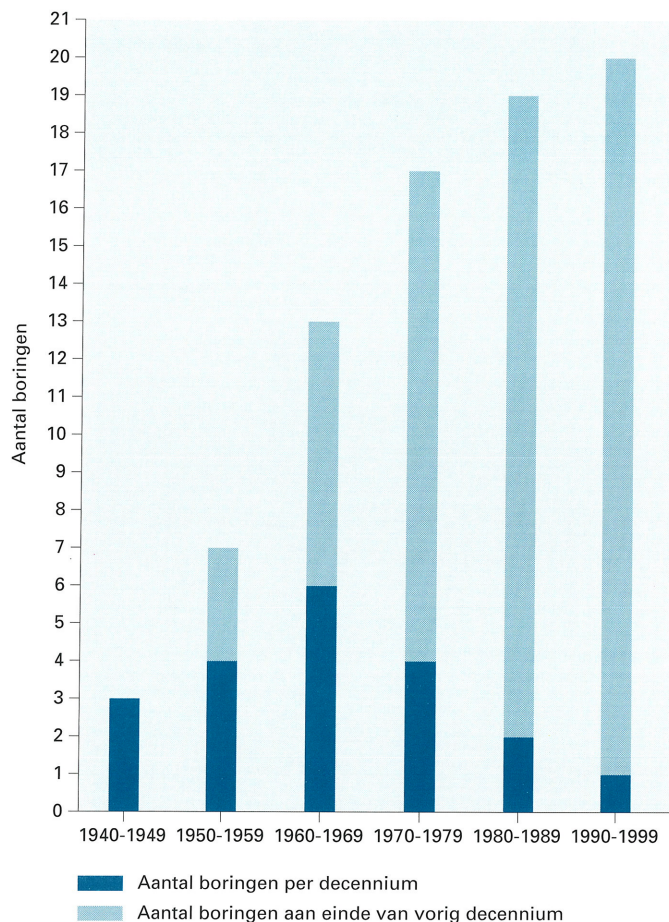
### 2.2 Koolwaterstoffen

De exploratie naar koolwaterstoffen in dit kaartbladgebied ving aan in 1943-1944 met 3 exploratieboringen van de Bataafse Petroleum Maatschappij. In de decennia die volgden zijn er een 10-tal boorvergunningen afgegeven aan onder andere Mobil, Amoco, NAM, Petroland, BP, en Conoco. In de 60-er en 70-er jaren van de vorige eeuw vond het hoogtepunt in de exploratie plaats met 10 boringen (fig. 2.1). Wegens het uitblijven van economisch succes is voor geen van de boorvergunningen een concessievergunning aangevraagd. Er vinden de laatste jaren geen activiteiten meer plaats in het kaartbladgebied.

### 2.2 Steenkool

In het kader van het Project Inventarisatieonderzoek Nederlandse Kolenvoorkomens, eerste fase 1981-1985, in het kaartbladgebied de boring Joppe-1 gezet. Het Carboontraject werd aangeboord op een

Figuur 2.1 Overzicht exploratieboringen naar olie en gas in het kaartbladgebied.





diepte van 819 – 1494 m. De resultaten van deze boring worden behandeld in het hoofdstuk Toegepaste geologie, paragraaf 14.2.

#### **2.4   Thermaal water**

In 1994 werd een boring bij Nijmegen uitgevoerd ten behoeve van mineraalrijk water voor het kuuroord Sanadome met als doel de Krijtkalk Groep. Er is geboord tot een diepte van 759 m. De onderste 50 m van het traject bevatten krijtkalk afzettingen die zeer mergelig bleken te zijn met een slechte porositeit en permeabiliteit, zodat de waterfilters zijn gezet op 695 m in de zanden van het Heers Laagpakket in de Onder-Noordzee Groep.

### 3 Structureel raamwerk

In dit hoofdstuk worden de binnen het kaartbladgebied onderscheiden structurele elementen (fig. 3.1) beschreven in volgorde van hun ontstaan. De structurele geschiedenis is grotendeels bepaald door de Varistische en de Alpiene Orogenese, maar aangenomen wordt dat een belangrijk deel van de aanwezige structurele elementen is echter al ontstaan tijdens de Caledonische Orogenese.

In het Laat-Carboon bevond zich in het noorden van het kaartbladgebied het zuidelijk deel van het **Nederlands Hoog** (fig 3.1a), een sterk opgeheven gebied in centraal en noordelijk Nederland, waar alleen nog Westfalen A en B aanwezig is. In het zuidelijk deel van het kaartbladgebied lag het **Achterhoek Hoog**, een brede anticlinale structuur, waar Westfalen A, B en Vroeg-Westfalen C sedimenten met een hoekdiscordantie onder Perm afzettingen liggen.

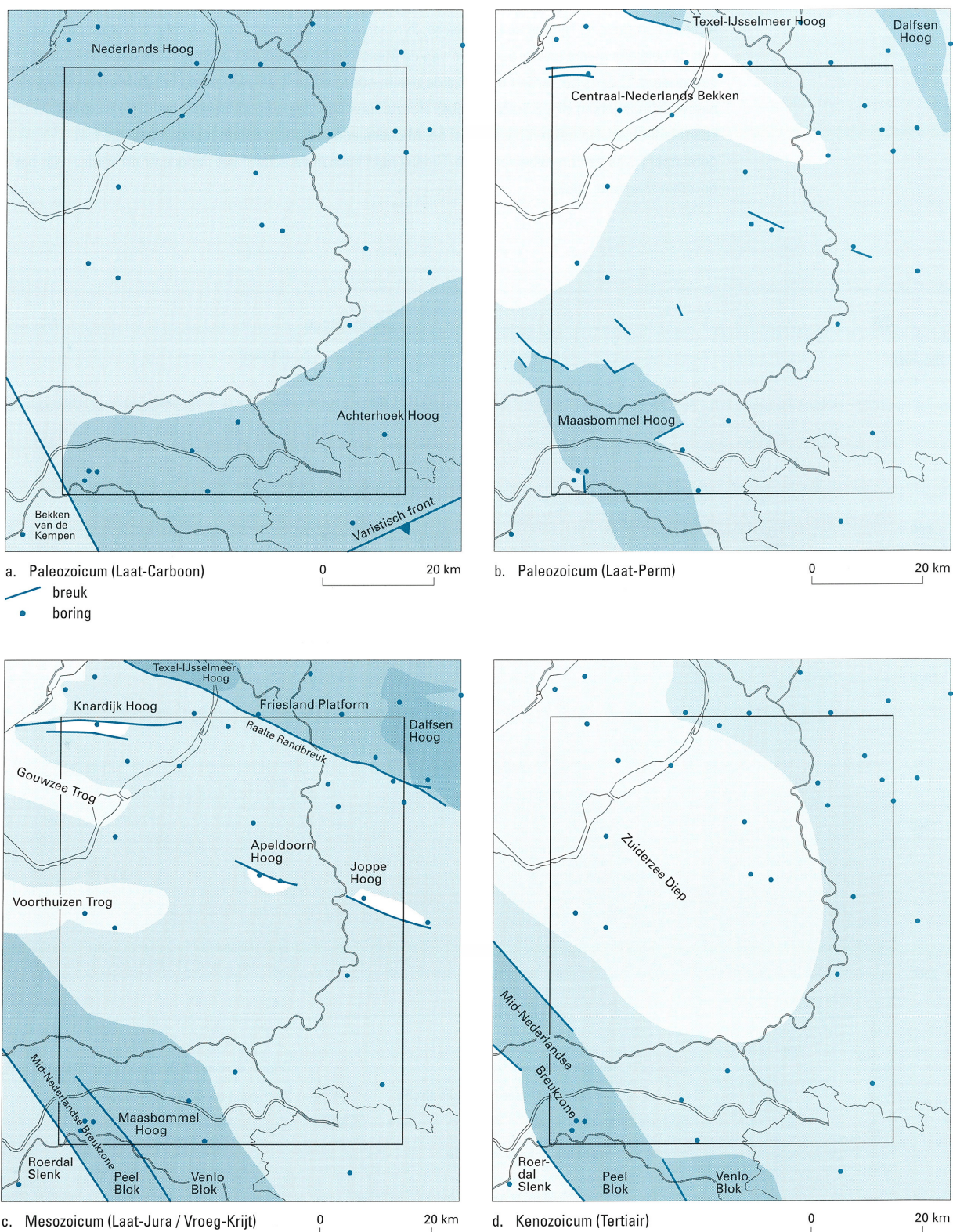
In het Laat-Perm ontstond een NW-ZO georiënteerd bekken: het **Centraal-Nederlands Bekken** (fig. 3.1b). Dit bekken wordt in het zuiden begrensd door het **Zuid-Nederlands Platform** en in het noorden door het **Texel-IJsselmeer Hoog**.

In de Trias ontwikkelde zich in het noorden van het kaartbladgebied de **Netherlands Swell**, waar slechts de onderste Trias afzettingen zijn gepreserveerd.

Het Centraal-Nederlands Bekken heeft tijdens de Kimmerische tektonische fasen een periode van snelle differentiële daling doorgemaakt, waardoor in het bekken een patroon van lokale slenken en hogen is ontstaan. In deze WNW-OZO gerichte slenken is een vrij complete opeenvolging Jura en oudere sedimenten bewaard gebleven. Alleen in de lokale slenken, zoals de **Gouwzee Trog** en de **Voorthuizen Trog** zijn ook Boven-Jura en Onder-Krijt sedimenten bewaard gebleven. In het noorden wordt het Centraal-Nederlands Bekken begrensd door een grote randbreuk, de **Raalte Randbreuk** (fig.3.1c), gescheiden van het **Texel-IJsselmeer Hoog** en de extensie daarvan in zuidoostelijke richting, het **Friesland Platform**. Het **Dalfsen Hoog** (fig. 3.1c) in het uiterste noordoosten van het kaartbladgebied wordt gekenmerkt door diepe erosie tijdens de Laat-Kimmerische fasen. Op het hoog ligt de Rijnland Groep discordant op het Carboon (Kaart 17). Het Centraal-Nederlands Bekken wordt in het zuiden begrensd door het **Maasbommel Hoog**, dat tijdens het Mesozoïcum sterk werd opgeheven (TNO-NITG, 2001a). De **Mid-Nederlandse Breukzone** vormt een lineament van breuken met daaraan gelieerd de Zandvoort Rug en het IJmuiden Hoog, ten westen van het kaartbladgebied, het Maasbommel Hoog en het zuidelijk van het kaartblad gelegen **Peel Blok** en **Venlo Blok**. Tevens vormt deze breukzone de noordoostelijke begrenzing van het West-Nederlands Bekken en de **Roerdal Slenk** (fig. 3.1c). Tijdens de Laat-Kimmerische fasen werden de individuele hogen tussen Zandvoort en Venlo gekenmerkt door sterke erosie ten gevolge van kanteling en opheffing, gevolgd door een sterke daling in het Laat-Krijt.

Tijdens het Laat-Krijt werd het Centraal-Nederlands Bekken opgeheven (geïnverteerd) en vond diepe erosie plaats tot in de Jura en Trias sedimenten. Opschuivingtektoniek manifesteerde zich aan de randen van het bekken en de grootste opheffing vond plaats in het centrum. Ook de lokale hogen in het bekken zijn tijdens en aan het einde van het Laat-Krijt sterk opgeheven, waardoor daar, na erosie Tertiaire sedimenten direct op het Carboon kwamen te liggen. Voorbeelden van die hogen zijn het **Knardijk Hoog**, het **Apeldoorn Hoog** en het **Joppe Hoog** (fig 3.1c). De Krijtkalk Groep ontbreekt hierdoor in het Centraal-Nederlands Bekken, met uitzondering van na de inversie afgezette sedimenten van Danien ouderdom, die bewaard zijn gebleven in het noordwesten van het kaartbladgebied en in het aangrenzend deel van Duitsland (fig. 11.4). Tijdens de inversie daalden de voormalige bekkenranden. Zowel op het Maasbommel Hoog als in het noordoosten van het kaartbladgebied op het Friesland Platform treffen we een dik pakket van de Krijtkalk Groep aan.

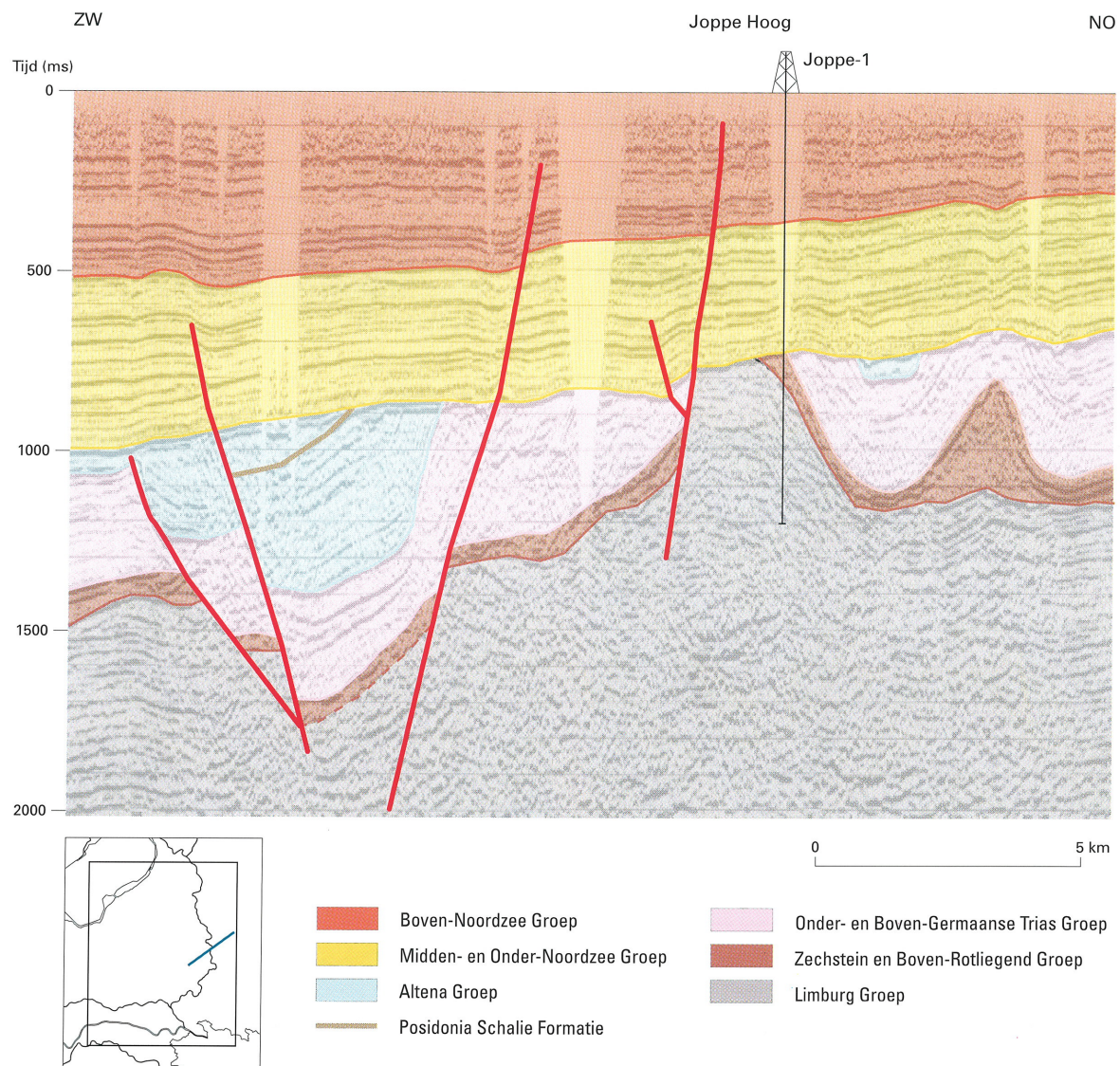




Figuur 3.1 Overzicht van de evolutie van de structurele elementen in het kaartbladgebied. a. Paleozoicum (Laat-Carboon), b. Paleozoicum (Laat-Perm) c. Mesozoicum (Laat-Jura/Vroeg-Krijt), d. Kenozoicum (Tertiair).

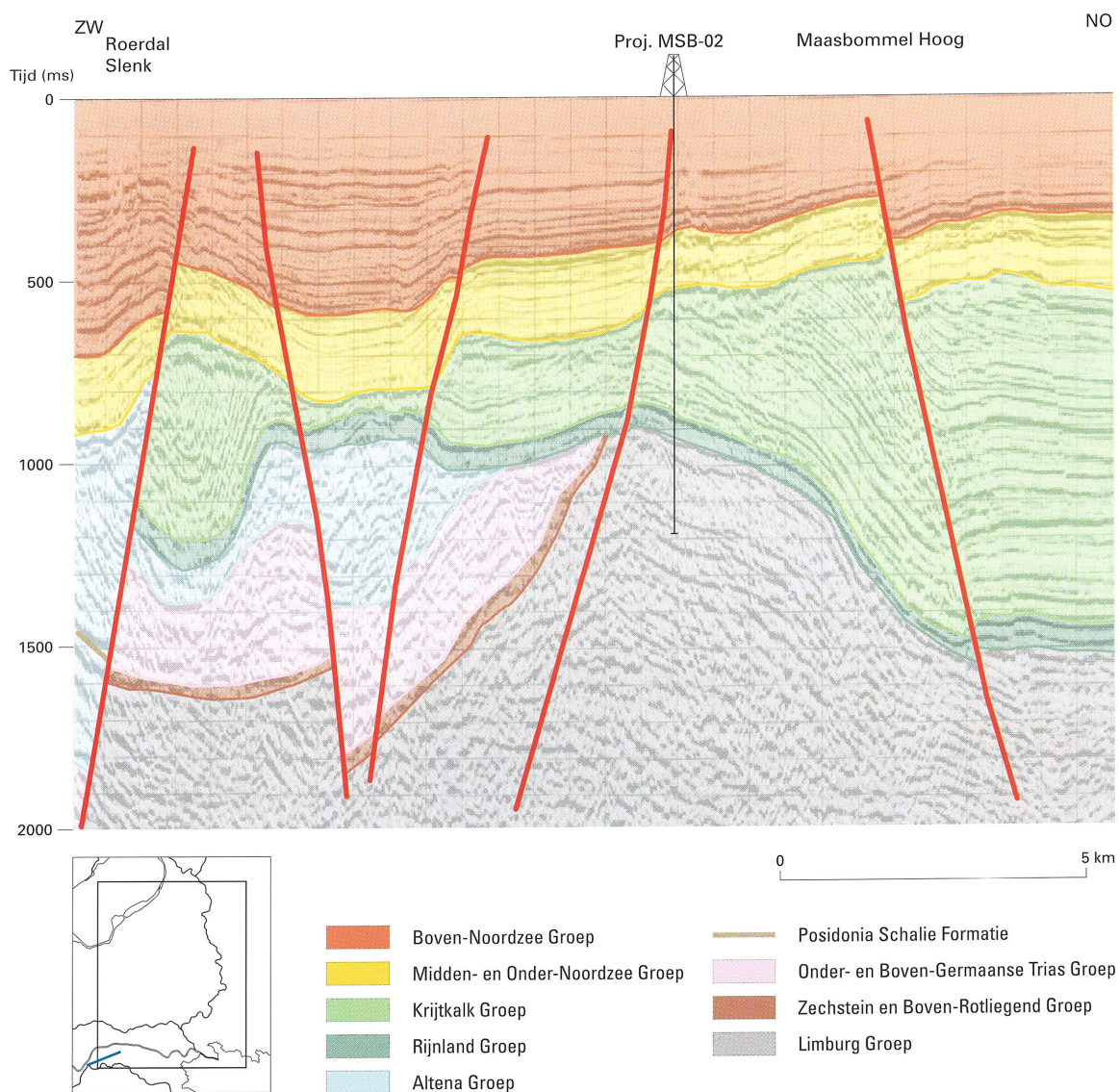


Tot en met het Laat-Oligoceen werd het Kenozoïcum overheerst door inversietektoniek ten gevolge van Alpine compressie. Tijdens de Laramische, Pyreneïsche en Savische compressiefasen vond opheffing van de bekkens plaats en werden delen van de Mesozoïsche en Tertiaire sedimentaire opeenvolgingen geërodeerd. Tijdens het Tertiair ontwikkelde zich in noord en centraal Nederland het **Zuiderzee Diep** als nieuw dalingsgebied (fig. 3.1d & fig. 13.4). Het zuidoostelijk deel van dit bekken bevindt zich in het kaartbladgebied. Dit bekken heeft vanaf het Mioceen een regionale daling meegemaakt die niet gerelateerd was aan breukbewegingen. Tijdens het Pliocene verschoof het depocentrum verder naar het noorden (Zagwijn, 1989).



Figuur 3.2 Seismische sectie in oosten van het kaartbladgebied met het Joppe Hoog en een zoutkussen ten noordoosten daarvan.





Figuur 3.3 Seismische sectie over het Maasbommel Hoog die de enorme verdikking van de Krijt kalk Groep toont op dit hoog.



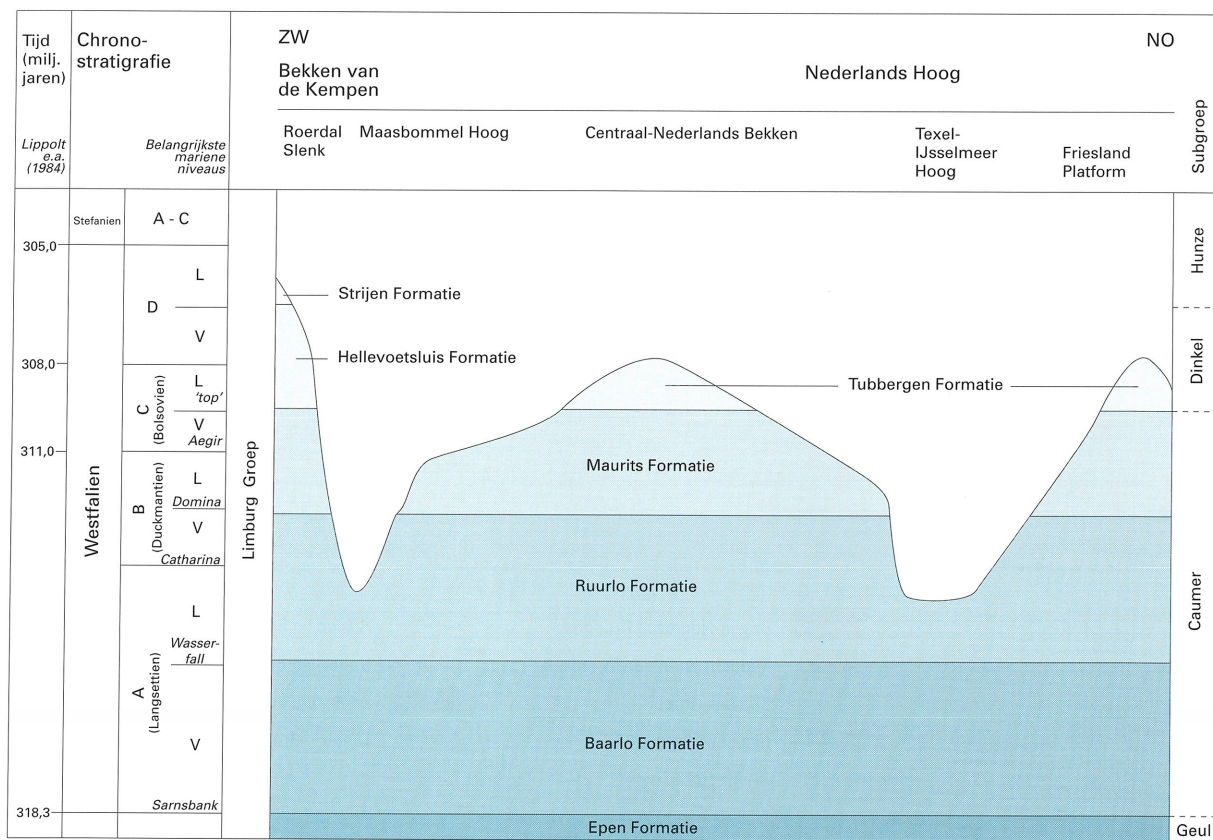
## 4 Limburg Groep

### 4.1 Stratigrafie

De Limburg Groep is de oudste aangeboorde eenheid in het kaartbladgebied en vertegenwoordigt het Silesien (Laat-Carboon). De groep bestaat uit een afwisseling van overwegend grijze tot zwarte kleistenen, siltstenen en zandstenen met voornamelijk in het Westfalien B en C veel ingeschakelde koollagen. De groep is onderverdeeld in 4 subgroepen (fig. 4.1). Zij vertegenwoordigen elk een fase van de Laat-Carboon regressieve megasequentie. Het onderste deel, de Geul Subgroep, is niet aangeboord in het kaartbladgebied. Kleisteen en steenkool zijn de kenmerkende lithologieën van de Caumer Subgroep. De Dinkel Subgroep is voor een groot deel opgebouwd uit zandsteen. De Hunze Subgroep tot slot, bestaand uit overwegend rood gekleurde kleistenen, komt slechts ten zuidwesten van kaartbladgebied voor.

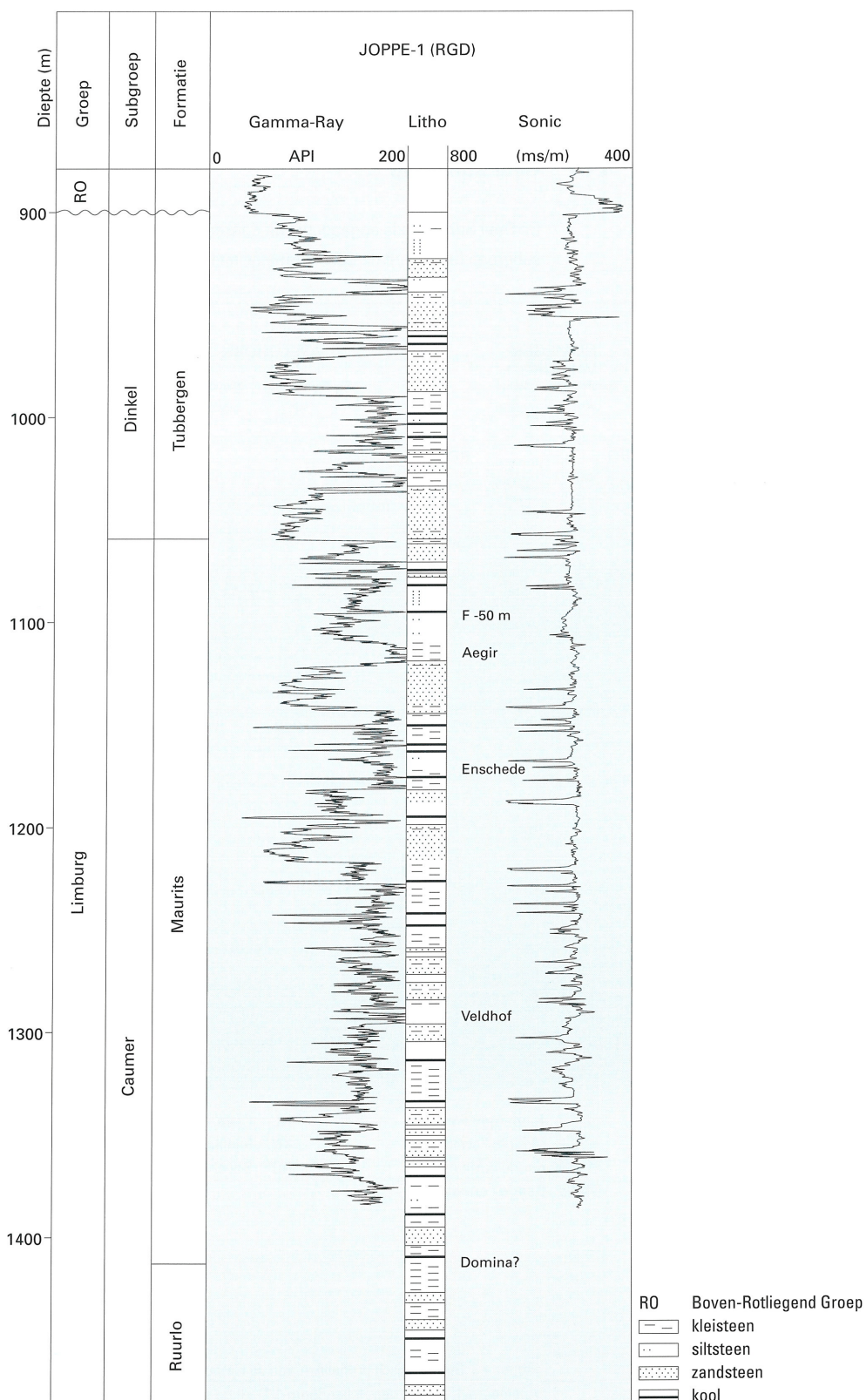
De Limburg Groep wordt in vrijwel het gehele kaartbladgebied discordant bedekt door de Boven-Rotliegend Groep (Kaart 1), met uitzondering van een aantal hogen in het noorden waar de groep discordant wordt bedekt door de Schieland of de Rijnland Groep en het centrale deel van het kaartbladgebied, waar de groep discordant wordt bedekt door afzettingen van de Noordzee Supergroep. Op het Maasbommel Hoog wordt de Limburg Groep discordant bedekt door de Rijnland Groep (Kaart 10).

De afzettingen van de Limburg Groep komen voor binnen het gehele kaartbladgebied. De totale dikte van deze groep is niet bekend, maar gezien de ligging van het gebied in het bekken bedraagt de dikte



Figuur 4.1 Lithostratigrafisch overzicht van de Limburg Groep.

Figuur 4.2 Stratigrafische indeling en logkarakteristiek van de Limburg Groep in de boring Joppe-1. De belangrijkste mariene niveaus zijn weergegeven.



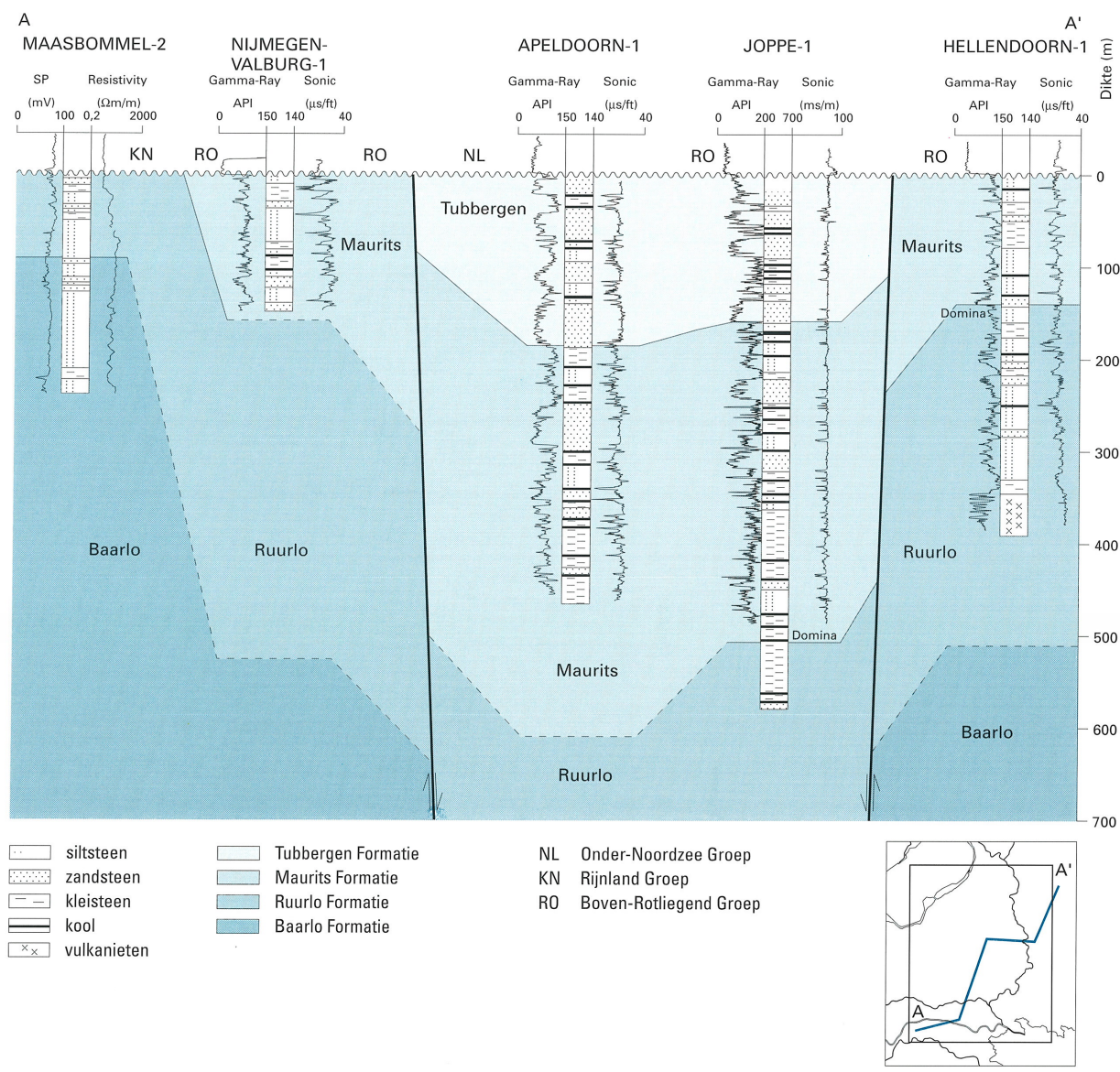


vermoedelijk meer dan 5 km in het centrale deel van het kaartbladgebied. In het noorden en zuiden zijn de jongere afzettingen geërodeerd (fig. 4.4).

De bovenkant van de Limburg Groep bevindt zich in de slenken op een diepte van meer dan 4400 m en op de lokale hogen op 700 m diep.

#### 4.1.1 Geul Subgroep

De Geul Subgroep is opgebouwd uit donkere kleistenen. Koollagen ontbreken in deze subgroep. De subgroep bestaat uit de Epen Formatie, met een Namurien tot Vroeg-Westfalen A ouderdom. Alleen ten



Figuur 4.3 Stratigrafisch profiel A-A' van de Limburg Groep tussen de boringen Maasbommel-2, Nijmegen-Valburg-1, Apeldoorn-1, Joppe-1 en Hellendoorn-1. Door de sterke tektoniek wordt de Limburg Groep discordant bedekt door de Boven-Rotliegend, de Rijnland of de Onder-Noordzee Groep.

oosten van het kaartbladgebied is de subgroep in boringen aangetroffen. De beschrijving van de eenheid is gebaseerd op gegevens van boringen ten oosten van het kaartbladgebied.

#### **4.1.1.1 Epen Formatie**

De formatie ligt met een hiaat op de Kolenkalk Groep en wordt concordant bedekt door de Baarlo Formatie. De eenheid bestaat hoofdzakelijk uit donkergekleurde klei- en siltstenen met slechts een gering percentage zandstenen. De formatie wordt gekenmerkt door een stapeling van naar boven toe vergroevende sequenties met een dikte van 50 tot 100 m. De totale dikte van de Epen Formatie bedraagt circa 1800 m. Binnen de formatie worden twee laagpakketten onderscheiden: het Geverik en het Ubachsberg Laagpakket.

Het *Geverik Laagpakket* vormt de basis van de Epen Formatie en is een zwarte bitumineuze schalie. Ten oosten van het kaartblad heeft het een dikte van 50-80 m. Het laagpakket heeft een Vroeg-Namuriën A ouderdom.

Het *Ubachsberg Laagpakket* bestaat uit een tweetal dikke zandsteenbanken met een gezamenlijke dikte van 25 tot 35 m. De ouderdom is Vroeg-Namuriën C.

#### **4.1.2 Caumer Subgroep**

De Caumer Subgroep bestaat uit een opeenvolging van donkergekleurde kleistenen met ingeschakelde zandstenen en koollagen. De subgroep bestaat uit drie formaties: de Baarlo, de Ruurlo en de Maurits Formatie. De Caumer Subgroep komt in het hele kaartbladgebied voor. In het centrale deel van het kaartbladgebied ligt de Dinkel Subgroep conform op de Caumer Subgroep. In het noorden en zuiden rust de Boven-Rotliegend Groep op de Caumer Subgroep, terwijl op het Maasbommel Hoog de Rijnland Groep de overliggende eenheid vormt. Op het Knardijk Hoog ligt de Noordzee Supergroep discordant op de Caumer Subgroep. De Caumer Subgroep is nergens geheel doorboord; uit boringen ten oosten van het kaartbladgebied, Nederlandse rapportage en Duitse literatuurgegevens kan worden afgeleid dat de dikte van de Caumer Subgroep 2000 m kan bedragen (*RGD, 1986b*; Drozdewski, 1992, 1993). De ouderdom is Laat-Namuriën C tot Vroeg-Westfalien C.

##### **4.1.2.1 Baarlo Formatie**

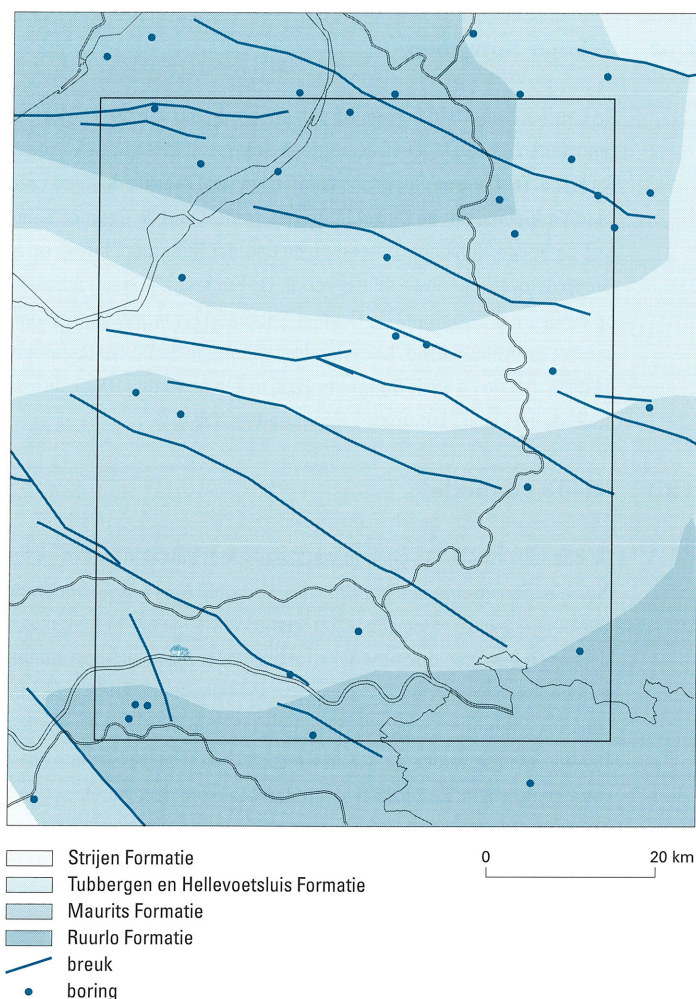
De Baarlo Formatie is opgebouwd uit een groot aantal, naar boven toe grover wordende, sequenties (fig. 4.3). Zij variëren in dikte van enkele tientallen tot enkele honderden meters. De basale donkere kleistenen gaan over via siltstenen naar fijnkorrelige tot middelgrove zandstenen. Verscheidene basale kleistenen bevatten open-mariene tot brakwater fossielen (goniatieten, *Lingula*). De grootschalige sequenties zijn regionaal correleerbaar; de individuele zandsteenlichamen hebben echter een beperkte laterale continuïteit. In het algemeen komen er in de Baarlo Formatie minder dan vier koollagen voor per 100 m sectie. De koollagen hebben meestal een dikte van enkele dm maar kunnen een maximale dikte van 2 m bereiken. Ze zijn beperkt tot het bovenste deel van de sequenties. De formatie komt in het gehele kaartbladgebied voor, maar is slechts aangeboord in de boringen Maasbommel-2 (fig. 4.3) en Zeddam-1. De zandstenen van de Baarlo Formatie bereiken een dikte van 30 m en treden op aan de top van naar boven toe vergroevende sequenties. Ten oosten van het kaartbladgebied heeft de formatie een dikte van meer dan 600 m. De ouderdom van de formatie is Laat-Namuriën C tot Vroeg-Westfalien A.



#### 4.1.2.2 Ruurlo Formatie

De Ruurlo Formatie bestaat uit een opeenvolging van donkergrijze of zwarte, siltige kleistenen met een variërend aantal koollagen (fig. 4.2 & 4.3), en grijze of lichtgele fijnkorrelige, kleiige of siltige zandstenen. De zandstenen zijn gestapelde fluviatiele afzettingen. Deze eenheden zijn gemiddeld 50 m dik en laten zowel opwaartse vergroevings- als verfijningstrends zien. De zandstenen zijn ontwikkeld in kleine geulen en komen ook voor als dunne lagen met een goede laterale continuïteit. Koollagen, tot 2 m dik, komen veel voor, maar met een lateraal sterk wisselende frequentie. De formatie komt voor in het gehele kaartbladgebied en ligt concordant op de Baarlo Formatie. Binnen de formatie zijn twee belangrijke mariene horizons te onderscheiden. Aan de basis ligt het mariene Wasserfall niveau. De grens van het Westfalen A en B wordt gevormd door het Catharina niveau. Aan de top van de formatie vormt het equivalent van het Domina niveau de grens tussen Vroeg- en Laat-Westfalen B. Er is geen mariene fauna aangetroffen op dit niveau. (H. Pagnier, pers. comm.). De formatie heeft een Laat-Westfalen A tot en met Vroeg-Westfalen B ouderdom.

*Figuur 4.4* Afgedekte geologische kaart aan de top van de Limburg Groep. De kaart is gebaseerd op Van Adrichem Boogaert & Kouwe (1993-1997), aangevuld met nieuwe gegevens uit deze kartering.



De Ruurlo Formatie is in geen enkele boring geheel doorboord of compleet aangetroffen. De maximale aangeboorde dikte in het kaartbladgebied bedraagt ongeveer 350 m, maar ten oosten van het kaartblad zijn diktes van 600 tot 700 m aangetroffen (NITG-TNO, 1998).

De formatie wordt concordant bedekt door de Maurits Formatie of discordant door de Boven-Rotliegend, Zechstein of de Rijnland Groep.

#### **4.1.2.3 Maurits Formatie**

De Maurits Formatie bestaat voornamelijk uit lichtgrijze kleistenen met veelvuldig voorkomende koollagen. Daarnaast komen enkele lagen fijn- tot grofkorrelige zandsteen voor die een dikte van 10-15 m kunnen bereiken. Deze formatie onderscheidt zich van de onderliggende formatie door een fijnkorreliger karakter en een groter aantal koollagen. De formatie ligt conform op de Ruurlo Formatie en wordt disconform bedekt door de Dinkel Subgroep in het centrale deel van het kaartbladgebied of door de Boven-Rotliegend Groep. De Maurits Formatie komt voor in een groot deel van het gebied, maar is door erosie afwezig in het noordwesten en het zuiden (fig. 4.4). De maximale aangeboorde dikte bedraagt ongeveer 380 m in Joppe-1 (fig. 4.2). Ten oosten van het kaartbladgebied is de complete sectie van de Maurits Formatie wel doorboord en bedraagt de maximale dikte eveneens 380 m (NITG-TNO, 1998).

Binnen de Maurits Formatie komt een belangrijke mariene horizon voor, het Aegir niveau, die de scheiding vormt tussen de afzettingen van Westfalen B en C. De top van de formatie wordt bepaald door het eerste voorkomen van dikke fluviatiele zanden van de Dinkel Subgroep. De ouderdom van de formatie is Laat-Westfalen B tot Vroeg-Westfalen C.

#### **4.1.3 Dinkel Subgroep**

De Dinkel Subgroep wordt in het kaartbladgebied vertegenwoordigd door de Tubbergen en de Hellevoetsluis Formatie. De ouderdom is Vroeg-Westfalen C tot en met Vroeg-Westfalen D.

##### **4.1.3.1 Tubbergen Formatie**

De Tubbergen Formatie bestaat voor een groot deel uit zandsteen en is opgebouwd uit een afwisseling van 10 tot ruim 30 m dikke zandsteenpakketten. De zandstenen worden door 5 tot 40 m dikke klei- en siltsteen intervallen gescheiden (fig. 4.2 & 4.3). Zandsteenpakketten maken 50 tot 80% van de formatie uit. Het zandpercentage neemt in noordelijke richting af. De zandstenen bestaan uit middelgrove, zeer grove tot conglomeratische zandsteen, met slecht afgeronde korrels. Zij zijn overwegend lichtgrijs van kleur. De regionale kartering in het oosten van Nederland heeft aangetoond dat de zandsteenlichamen een goede laterale continuïteit hebben (NITG-TNO, 1998). In het kaartbladgebied is de Tubbergen Formatie in slechts twee boringen, Apeldoorn-1 en Joppe-1 aangetoond. In beide boringen is de dikte door erosie gereduceerd tot maximaal 180 m. Ten oosten van het kaartbladgebied komen diktes van 500 m voor. De formatie rust met een hiaat of een geringe hoekdiscordantie op de Maurits Formatie en komt in het centrale deel van het kaartbladgebied voor. Zij wordt discordant door de Boven-Rotliegend Groep of de Noordzee Supergroep bedekt (fig. 4.3 & 4.4).

De formatie heeft in dit gebied een Vroeg-Westfalen C tot Vroeg-Westfalen D ouderdom.



#### **4.1.3.2 Hellevoetsluis Formatie**

De Hellevoetsluis Formatie bestaat voor het grootste deel uit zandsteen en rust met een hiaat of een geringe hoekdiscordantie op de Maurits Formatie. De formatie komt binnen het kaartbladgebied alleen in de Roerdal Slenk voor. Ten zuidwesten van het kaartbladgebied rust de Strijen Formatie op de Hellevoetsluis Formatie, anders wordt de formatie discordant bedekt door de Boven-Rotliegend Groep. De formatie is niet aangeboord in dit kaartblad, maar elders in de Roerdal Slenk worden diktes van 200 m aangetroffen. De ouderdom is Vroeg-Westfalien C tot Vroeg-Westfalien D ouderdom.

#### **4.1.4 Hunze Subgroep**

De Hunze Subgroep wordt vertegenwoordigd door de Strijen Formatie. De ouderdom van de subgroep is Laat-Westfalien C tot Westfalien D.

#### **4.1.4.1 Strijen Formatie**

De Strijen Formatie komt voor ten zuidwesten van het kaartbladgebied in de Roerdal Slenk (fig. 4.4). Deze formatie bestaat uit een opeenvolging van roodbruine, maar soms ook groengrijze, siltige tot fijnkorrelige zandige kleistenen. De Strijen Formatie ligt concordant op de Hellevoetsluis Formatie en wordt discordant bedekt door de Boven-Rotliegend Groep. De dikte van de formatie bedraagt meer naar het westen in de Roerdal Slenk maximaal 200 m. De formatie heeft een Laat-Westfalien C tot Westfalien D ouderdom.

#### **4.2 Vulkanieten**

In een aantal boringen zijn intrusiva in de Limburg Groep aangetoond.

In boring Haarle-1 is op een diepte van ongeveer 1480 m in de Maurits Formatie een intrusief lichaam van 17 m dikte aangetroffen. Er is geen geochemisch of petrologisch onderzoek verricht, waardoor er niets valt te zeggen over de mineralogische samenstelling van dit gesteente, noch over de ouderdom. In boring Hellendoorn-1 zijn in de Ruurlo Formatie op een diepte van 1455 m kleistenen aangeboord die metamorfe kenmerken vertonen, veroorzaakt door intrusieven in de nabijheid van de boring. Eerder onderzoek (RGD, 1993 & NITG-TNO, 1998) heeft uitgewezen dat ten oosten van het kaartblad intrusieve gesteenten zijn aangeboord, waarvan de ouderdom is bepaald op Laat-Trias (Vroeg-Kimmerische fase). Ten noorden van het kaartblad zijn eveneens intrusieven aangetoond, waarvan enkele een ouderdom hebben die samenvalt met de Saalische fase ( $289 \pm 7$  Ma) en andere een ouderdom van  $155 \pm 4$  Ma, corresponderend met de Mid-Kimmerische fase.

#### **4.3 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie**

De afzettingen van de Limburg Groep vertegenwoordigen een opvulling van het oost-west georiënteerd voorlandbekken. De dikke regressieve opeenvolging vertoont slechts graduele overgangen tussen de verschillende facies, hetgeen erop wijst dat daling en sedimentatie elkaar in evenwicht hielden. Gedurende een lange periode lag het vlakke landoppervlak rond de toenmalige zeespiegel; bij een kleine stijging van de zeespiegel werden grote oppervlakten overspoeld en werden hier mariene of brakwater sedimenten afgezet. Tevens ontstonden er door de hoge grondwaterspiegel op uitgebreide schaal moerassen, waarin veenvorming plaatsvond. Bij een daling van de zeespiegel breidden de riviersystemen zich uit over het gebied.

Het basale deel van de opeenvolging, de Geul Subgroep, bestaat uit mariene, lacustriene en deltaïsche sedimenten. Het middelste deel van de opeenvolging, de Caumer Subgroep, kenmerkt zich door fluviatiele en lacustriene afzettingen, waarbij in moerassen op grote schaal veenvorming optrad. In de Dinkel Subgroep breidden zich vanuit zuidoosten rivieren over het kaartbladgebied uit, die hier grofkorrelige afzettingen achterlieten. Later maakten deze rivieren plaats voor meren en stroomvlaktes, gekarakteriseerd door fijnkorrelige afzettingen van de Hunze Subgroep. Deze fluviatiele sedimenten representeren de afbraakprodukten van het Varistisch gebergte ten zuidoosten van het kaartbladgebied.



## 5 Boven-Rotliegend Groep

### 5.1 Stratigrafie

De Boven-Rotliegend Groep wordt binnen het kaartbladgebied vertegenwoordigd door de Slochteren Formatie (fig. 5.1). De groep heeft een Laat-Perm ouderdom.

De afzettingen van de Boven-Rotliegend Groep rusten met als grensvlak de Saalische discordantie op verschillende formaties van de Limburg Groep (fig. 5.3). De groep komt in een groot deel van het kaartbladgebied voor en is afwezig op het Maasbommel Hoog en het Dalfsen Hoog, net ten oosten van het kaartblad (fig. 5.4). De groep is eveneens afwezig op verscheidene kleine hogen in het latere Centraal-Nederlands Bekken (fig. 5.4; Kaart 1). Op de afzettingen van de groep liggen in het overgrote deel van het gebied concordant afzettingen van de Zechstein Groep (Kaart 2). Slechts in het gebied rondom het Dalfsen Hoog rust de Rijnland Groep (Kaart 10, 17) discordant op de Boven-Rotliegend Groep. De diepteligging van de basis van de groep varieert van minder dan 800 m in het oosten tot meer dan 4400 m in het noordwesten van het kaartbladgebied (Kaart 1).

De dikte van de Boven-Rotliegend Groep varieert van enkele meters in het oosten van het kaartbladgebied tot meer dan 150 m in het noorden.

#### 5.1.1 Slochteren Formatie

In de Slochteren Formatie (fig. 5.2 & 5.3) komen in het kaartbladgebied twee lithologieën voor.

Conglomeratistische afzettingen zijn typisch voor de formatie in het oosten en zuidoosten van het kaartbladgebied. In het zuidoosten van het kaartbladgebied bestaan zij uit een grijs, met anhydriet of dolomiet gecementeerd zandig conglomeraat. De componenten zijn kwartsrolstenen en lokaal komen koolfragmenten voor. In het noorden van het kaartbladgebied wordt in enkele boringen, waaronder Doornspijk-2 (fig. 5.2), een basisconglomeraat van tientallen meters aangetroffen.

De zandsteen is typisch roodbruin gekleurd, goed gesorteerd en middel- tot grofkorrelig en vertoont een kenmerkend geblokt patroon op de gamma-ray logs. Aan de hand van dipmeter-logs kan worden vastgesteld dat de zandstenen in het noorden van het kaartbladgebied en ten noordwesten van het kaartbladgebied (TNO-NITG, 2002) worden gekenmerkt door het veelvuldig voorkomen van scheefgelaagde duinafzettingen.

Figuur 5.1 Stratigrafisch overzicht van de Boven-Rotliegend Groep.

| Ouderdom | Groep            | Z                   | N |
|----------|------------------|---------------------|---|
| Perm     | Zechstein        | Bekkenrand          |   |
|          | Boven-Rotliegend | Slochteren Formatie |   |

## 5.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

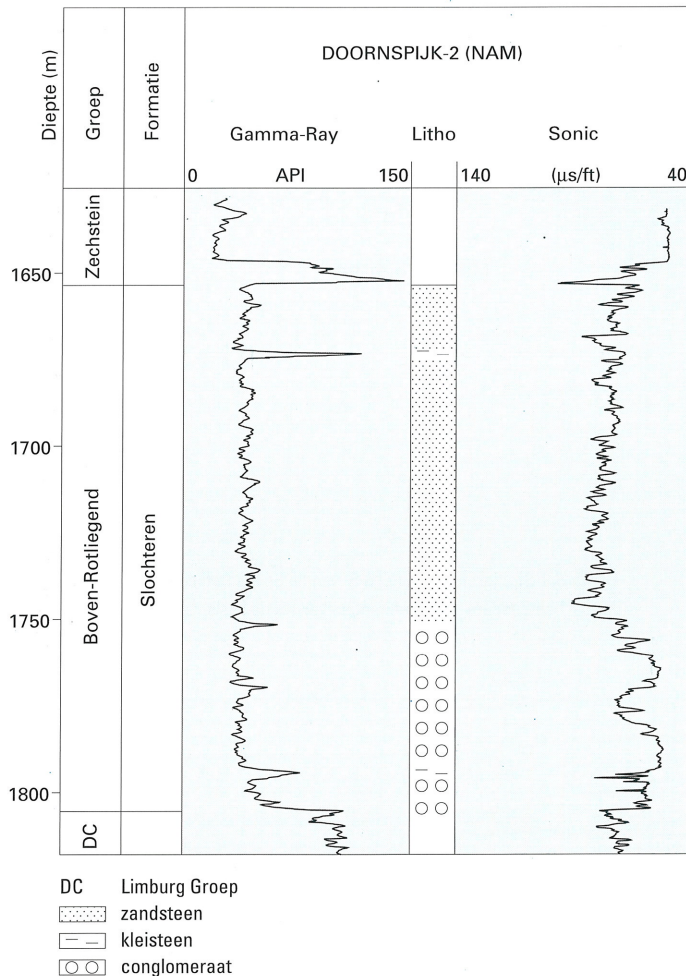
De Boven-Rotliegend Groep werd onder continentale omstandigheden afgezet aan de zuidostrand van het intracratonische Zuidelijk Perm Bekken. De in het kaartbladgebied afgezette sedimenten zijn de erosieproducten van het ten zuidoosten van het gebied gelegen Varistisch gebergte.

De conglomeraten en conglomeratische zandstenen van de Slochteren Formatie zijn afgezet door verwilderde rivieren in puinwaaiers. Op grond van het karakter op de boorgatmetingen is vastgesteld, dat de schone zandstenen van de Boven-Rotliegend Groep van eolische oorsprong zijn. In dit gebied vulden zij voornamelijk lokale depressies op.

De roodkleuring van de sedimenten wordt beschouwd als het gevolg van fluctuaties in de grondwaterspiegel reeds kort na afzetting. In perioden van lage grondwaterspiegel vond oxidatie van ijzerhoudende mineralen plaats en werd hematiet gevormd.

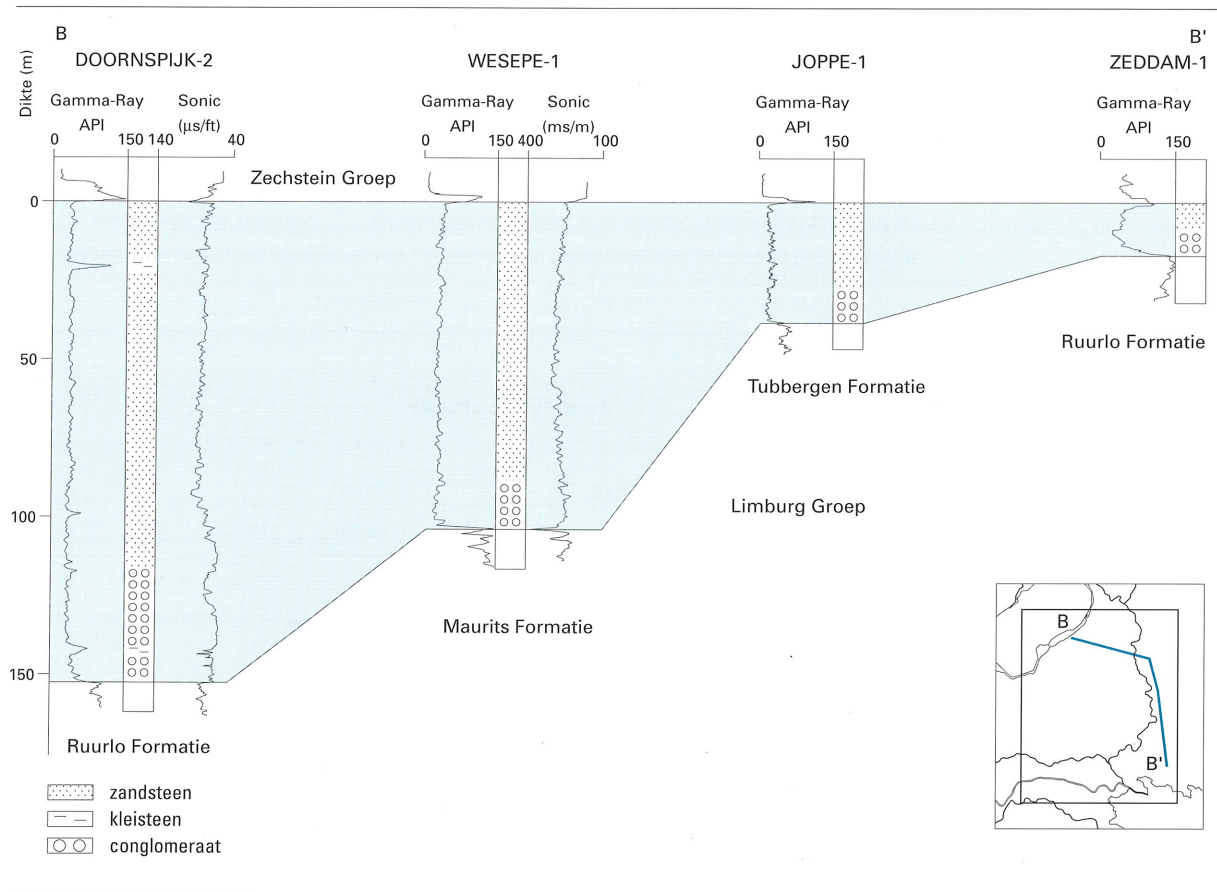
De bekkenstructuur werd bepaald door reactivatie van oude NW-ZO lineamenten (Ziegler, 1990). De dikteverdeling binnen het kaartbladgebied lijkt gerelateerd aan een NW-ZO georiënteerd breuksysteem,

Figuur 5.2 Stratigrafische indeling en logkarakteristiek van de Boven-Rotliegend Groep in de boring Doornspijk-2.



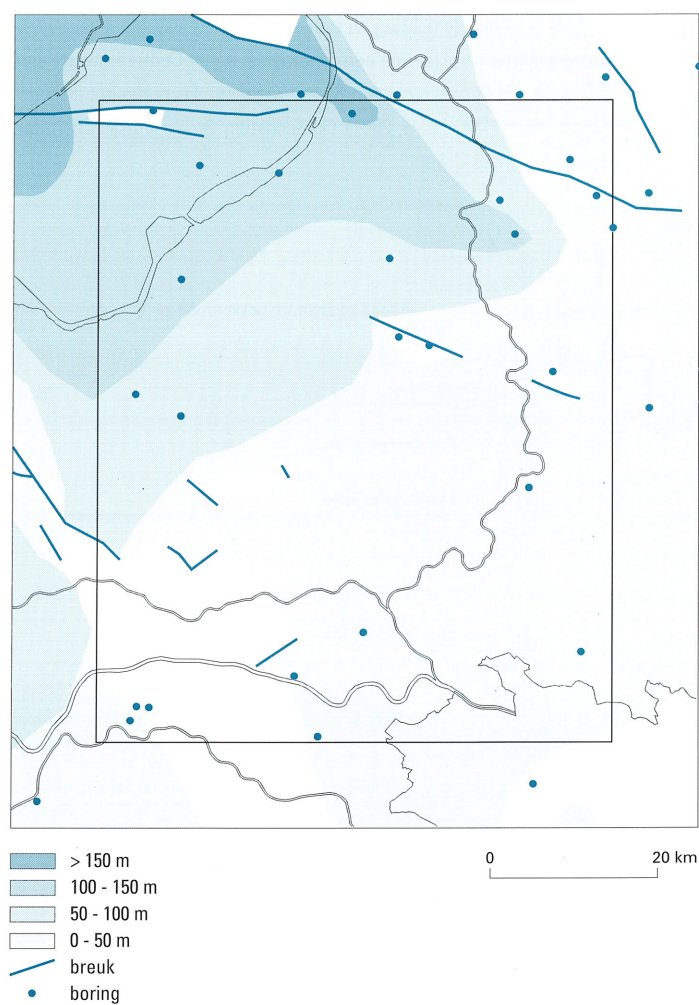


dat in grote lijnen overeenkomt met het Mesozoïsche Centraal-Nederlands Bekken. Het Maasbommel Hoog was als onderdeel van het Zuid-Nederlands Platform al actief in het Rotliegend, want op dit hoog zijn waarschijnlijk slechts enkele meters Rotliegend zandsteen aanwezig (Geluk et al., 1996) concordant gevolgd door Zechstein sediment. Dit is wellicht het gevolg van synsedimentaire tektoniek, waardoor verdunning ten gevolge van breukwerking optrad (Geluk et al., 1996). De dikte van de formatie neemt naar het noorden sterk toe (fig. 5.3 & 5.4) met overwegend eolische afzettingen. Het sediment ten zuiden van het Centraal-Nederlands Bekken werd fluviatiel getransporteerd.



Figuur 5.3 Stratigrafisch profiel B-B' van de Boven-Rotliegend Groep tussen de boringen Doornspijk-2, Wesepe-1, Joppe-1 en Zeddham-1. Het referentieniveau is de basis van de Zechstein Groep.

*Figuur 5.4* Diktekaart van de Boven-Rotliegend Groep in het kaartbladgebied.





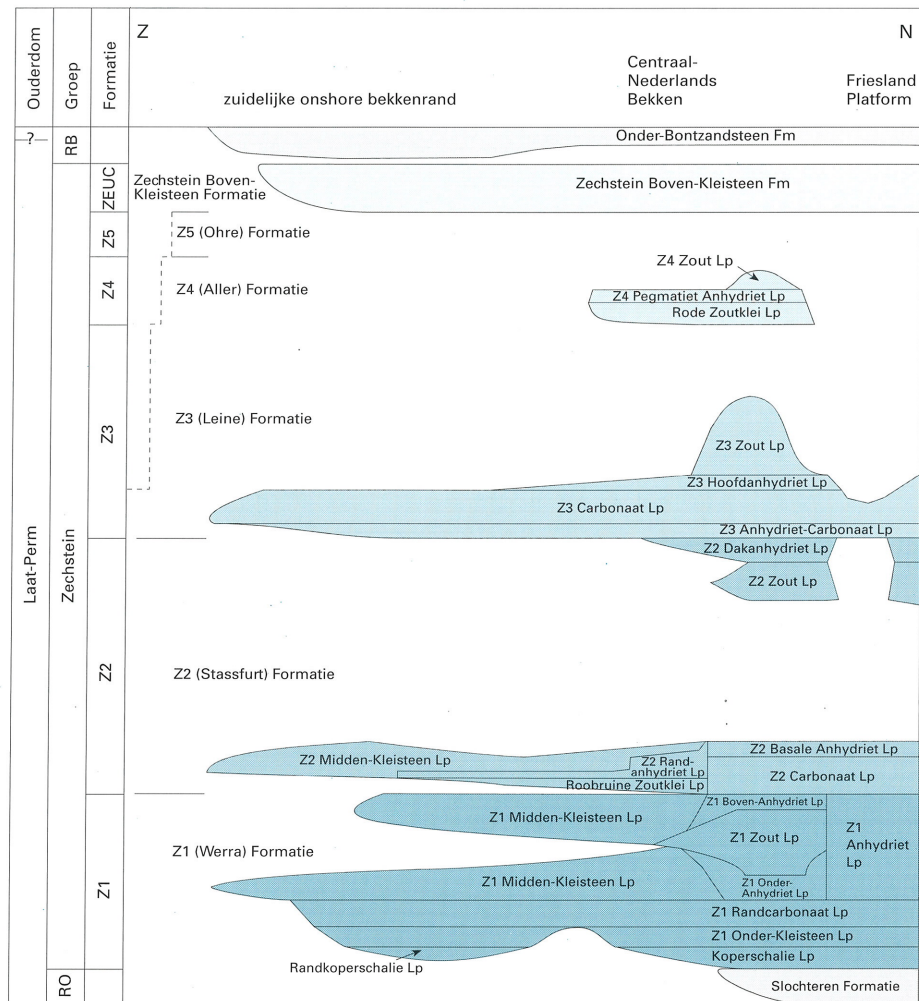
## 6 Zechstein Groep

### 6.1 Stratigrafie

De Zechstein Groep wordt in het kaartbladgebied onderverdeeld in vijf formaties: de Z1 (Werra), Z2 (Stassfurt), Z3 (Leine), Z4 (Aller) en de Zechstein Boven-Kleistein Formatie en heeft een Laat-Perm ouderdom. De vier evaporietcycli zijn voornamelijk in het Centraal-Nederlands Bekken aanwezig en bestaan uit klastische afzettingen, carbonaten en evaporieten (fig. 6.1 & fig. 6.4a t/m d). In het zuiden van het kaartblad en nabij de Raalte Randbreuk treffen we de klastische equivalenten van de Z1 en Z2 Formatie aan. De lithologische onderverdeling van de groep wordt geïllustreerd in figuren 6.2 en 6.3.

In het kaartbladgebied ligt de Zechstein Groep concordant op de Boven-Rotliegend Groep. De groep wigt uit in zuidelijke richting en met een toename van fijn-klastische sedimenten heeft de Zechstein Groep hier het karakter van een randfacies. In het Centraal-Nederlands Bekken is de groep meer dan 300 m dik. De dunne Zechstein Boven-Kleistein Formatie ligt discordant op oudere Zechstein afzettingen (Geluk, 1999a; TNO-NITG, 2001). De Zechstein Groep wordt concordant bedekt door de Onder-Germaanse Trias Groep.

Figuur 6.1 Stratigrafisch overzicht van de Zechstein Groep.



RB Onder-Germaanse Trias Groep

RO Boven-Rotliegend Groep

### 6.1.1 Z1 (Werra) Formatie

De Z1 (Werra) Formatie bestaat uit een tien laagpakketten, die deels elkaars lateraal equivalent zijn (fig. 6.1). De klastische equivalenten zijn de Randkoperschalie, de Z1 Onder-Kleisteel, de Z1 Rand-Carbonaat, de Z1 Midden-Kleisteel Laagpakketten. De grootste dikte van het Z1 pakket is 200 m en die wordt bereikt in het noordwesten van het kaartbladgebied en ten noordoosten en zuidoosten daarvan (fig. 6.4a).

Het *Koperschalie Laagpakket* is een fijngelamineerde bruine, grijze bitumineuze kleisteel tot ongeveer 1 m dik. Het ligt concordant op de Slochteren Formatie en komt voor in vrijwel het gehele kaartbladgebied. In het zuiden wordt het *Randkoperschalie Laagpakket* in een aantal boringen aangetroffen. Deze afzetting wordt gekenmerkt door een lager gehalte aan organisch materiaal.

Het *Z1 Onder-Kleisteel Laagpakket* is een grijs tot bruin kleisteelpakket dat naar boven toe geleidelijk overgaat in mergel. Lokaal is de eenheid anhydritisch of dolomitisch ontwikkeld. Het laagpakket ligt concordant op het Koperschalie Laagpakket. Het komt voor in het zuiden van het kaartbladgebied en lokaal in het noorden in het Centraal-Nederlands Bekken. De grootste dikte van deze eenheid is 12 m.

Het *Z1 Carbonaat Laagpakket* is een grijs tot bruinkleurige kalksteel of dolomiet. Lokaal komen enige kleisteelagen voor. De eenheid komt in het noorden en oosten van het kaartblad voor en varieert in dikte van enkele meters tot bijna 30 m in het oosten. In het zuiden gaat het pakket over in het *Z1 Rand-Carbonaat Laagpakket* met een dikte van 34 tot 45 m.

Het *Z1 Midden-Kleisteel Laagpakket* bestaat uit een rood- tot grijsgekleurde, gelamineerde kleisteel met talrijke anhydrietconcreties, krimp-scheuren en dunne zandlaagjes en zandlenzen. De dikte van het pakket bedraagt maximaal 37 m. De eenheid is vooral in het zuiden van het kaartbladgebied en nabij de Raalte Randbreuk afgezet. Het evaporitische equivalent, het *Z1 Anhydriet Laagpakket* komt voor waar geen Z1 zout is afgezet en kan in het noordoosten van het kaartblad een dikte bereiken van meer dan 200 m.

De Z1 evaporiet-opeenvolging treffen we voornamelijk aan in het Centraal-Nederlands Bekken (fig. 6.4a). Het *Z1 Onder-Anhydriet Laagpakket* meer dan 100 m dik in boring Joppe-1. Het *Z1 Zout Laagpakket* heeft binnen het kaartbladgebied eenzelfde verbreiding als de onderliggende anhydriet. Het laagpakket bereikt in het Centraal-Nederlands Bekken een dikte van 170 m. Het Z1 halietspakket wordt concordant afgedekt door het *Z1 Boven-Anhydriet Laagpakket* dat een dikte van maximaal 70 m heeft.

### 6.1.2 Z2 (Stassfurt) Formatie

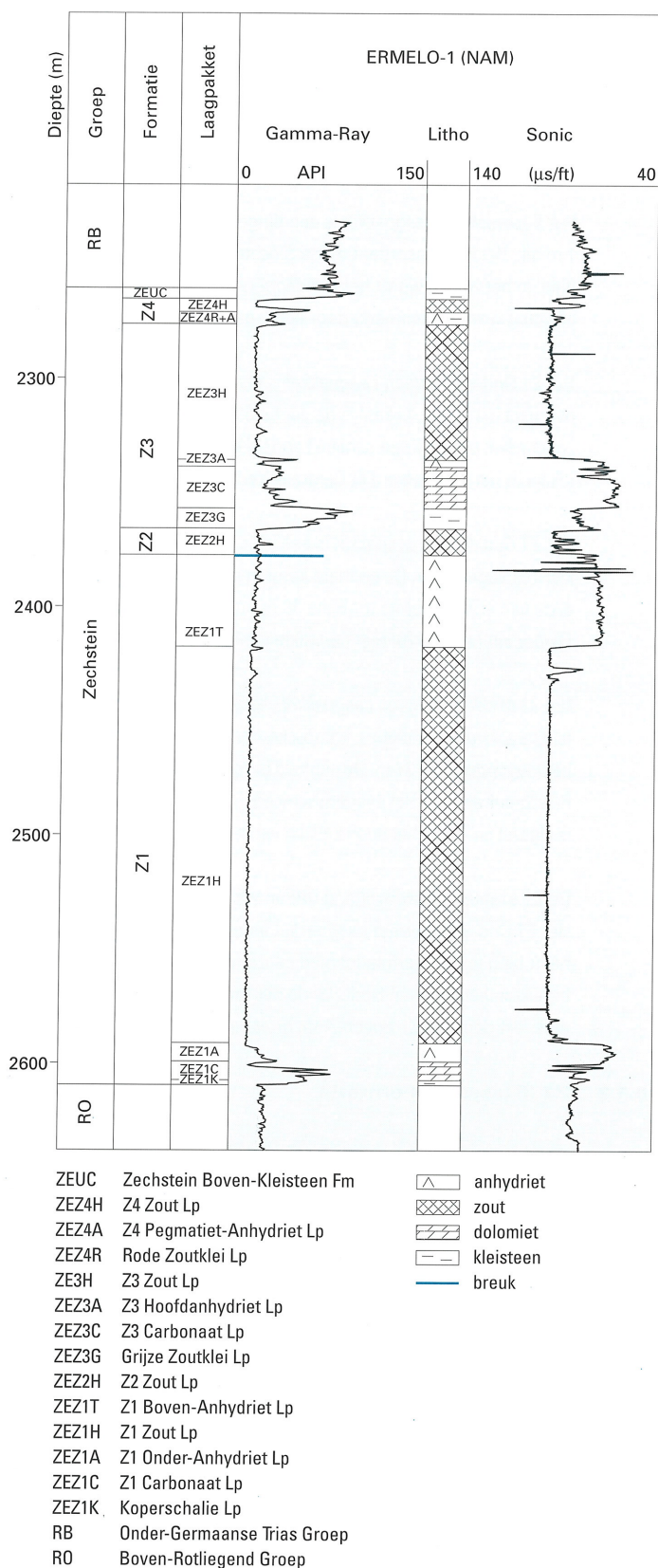
De Z2 (Stassfurt) Formatie bestaat uit de Z2 Midden-Kleisteel, de Z2 Carbonaat, de Z2 Basale Anhydriet, de Z2 Zout en het Z2 Dakanhydriet Laagpakketten. In het Centraal-Nederlands Bekken is de formatie ongeveer 50 m dik.

Het *Z2 Midden-Kleisteel Laagpakket* bestaat uit een rood- tot grijsgekleurde, gelamineerde kleisteel met anhydrietconcreties en krimp-scheuren. De anhydriet komt vooral voor aan de basis van het laagpakket. De eenheid bereikt een dikte van ongeveer 30 m in het zuiden van het kaartblad en gaat naar het noorden toe over in het Z2 Carbonaat Laagpakket. Nabij de Raalte Randbreuk worden diktes tot 50 m aangetroffen.

Het *Z2 Carbonaat Laagpakket* is aanwezig in het Centraal-Nederland Bekken en ten noorden daarvan. De eenheid is opgebouwd uit een dolomitische kalksteel, met daarin een anhydriet-niveau van 10 tot 15 m dikte. De dikte van de eenheid neemt toe van ruim 10 m tot meer dan 50 m.



Figuur 6.2 Stratigrafische indeling en logkarakteristiek van de Zechstein Groep in de boring Ermelo-1.



Het *Z2 Basale Anhydriet Laagpakket* heeft een zelfde verbreiding als de *Z2 Carbonaat* en kan maximaal ongeveer 35 m dik worden.

Het *Z2 Zout Laagpakket* komt in voor in het centrale deel van het Centraal-Nederlands Bekken, in het zuidoosten van het kaartbladgebied en in het noordoosten (fig. 6.4b). De eenheid bestaat uit wit tot lichtgrijze haliet, soms grof-kristallijn van textuur. Opmerkelijk is dat in het zuidoosten van het kaartbladgebied het *Z2 Zout* in normaal stratigrafisch contact op het *Z1 Zout* ligt (boring Zeddam-1); dit is ook in het aangrenzende deel van Duitsland waargenomen (Boringen Isselburg-1 en -2; Wolburg, 1957). Deze waarneming is tot op heden alleen op deze plaats in het Zechstein bekken gedaan (NITG-TNO, 1998).

Het *Z2 Dakanhydriet Laagpakket* is een zuivere anhydriet van enkele meters dik, die in het gehele gebied het *Z2 Zout Laagpakket* bedekt

#### 6.1.3 **Z3 (Leine) Formatie**

In de *Z3 (Leine) Formatie* worden het Grijze Zoutklei, het *Z3 Carbonaat*, het *Z3 Hoofdanhydriet* en het *Z3 Zout Laagpakket* onderscheiden. De formatie vertoont binnen het kaartbladgebied een dikte van 20 m in het zuiden tot lokaal meer dan 75 m in het Centraal-Nederlands Bekken (fig. 6.4c).

Het *Grijze Zoutklei Laagpakket* is een goedgelaagde, donkergrijze tot zwarte kleisteen met een dikte van slechts enkele meters. In de kleisteen komen anhydriet en steenzout-kristallen voor. Deze eenheid is gekenmerkt met een karakteristieke uitslag op de gamma-ray log (fig. 6.2 & 6.3).

Het *Z3 Carbonaat Laagpakket* bestaat in het zuiden van het kaartbladgebied uit licht gekleurde kalksteen en dolomiet en in het noorden uit een donker gekleurde massieve dolomiet. De eenheid komt met uitzondering van de hogen in het gehele kaartbladgebied voor en heeft een maximale dikte van 40 m.

Het *Z3 Hoofdanhydriet Laagpakket* bestaat uit een massieve, licht gekleurde anhydriet. De dikte van de eenheid varieert van 10 m in het zuiden tot 40 m in het noorden van het kaartbladgebied. De eenheid heeft dezelfde verbreiding als de *Z3 Carbonaat*.

Het *Z3 Zout Laagpakket* is aanwezig in het midden van het Centraal-Nederlands Bekken en in een klein gebied in het noordoosten van het kaartbladgebied. De dikte in het midden bedraagt 30 tot 70 m, in het noordoosten. Het zout bestaat uit kleurloze haliet, met lokaal oranje, roze en bruine zones.

#### 6.1.4 **Z4 (Aller) Formatie**

De *Z4 (Aller) Formatie* wordt onderverdeeld in het Rode Zoutklei, het *Z4 Pegmatiet-Anhydriet* en het *Z4 Zout Laagpakket*. De formatie neemt in noordelijke richting in dikte toe, van minder dan 10 m tot ruim 20 m (fig. 6.4d).

Het *Rode Zoutklei Laagpakket* is een roodbruine tot groenige zandige tot dolomitische, kleisteen, met een dikte van circa 5 m.

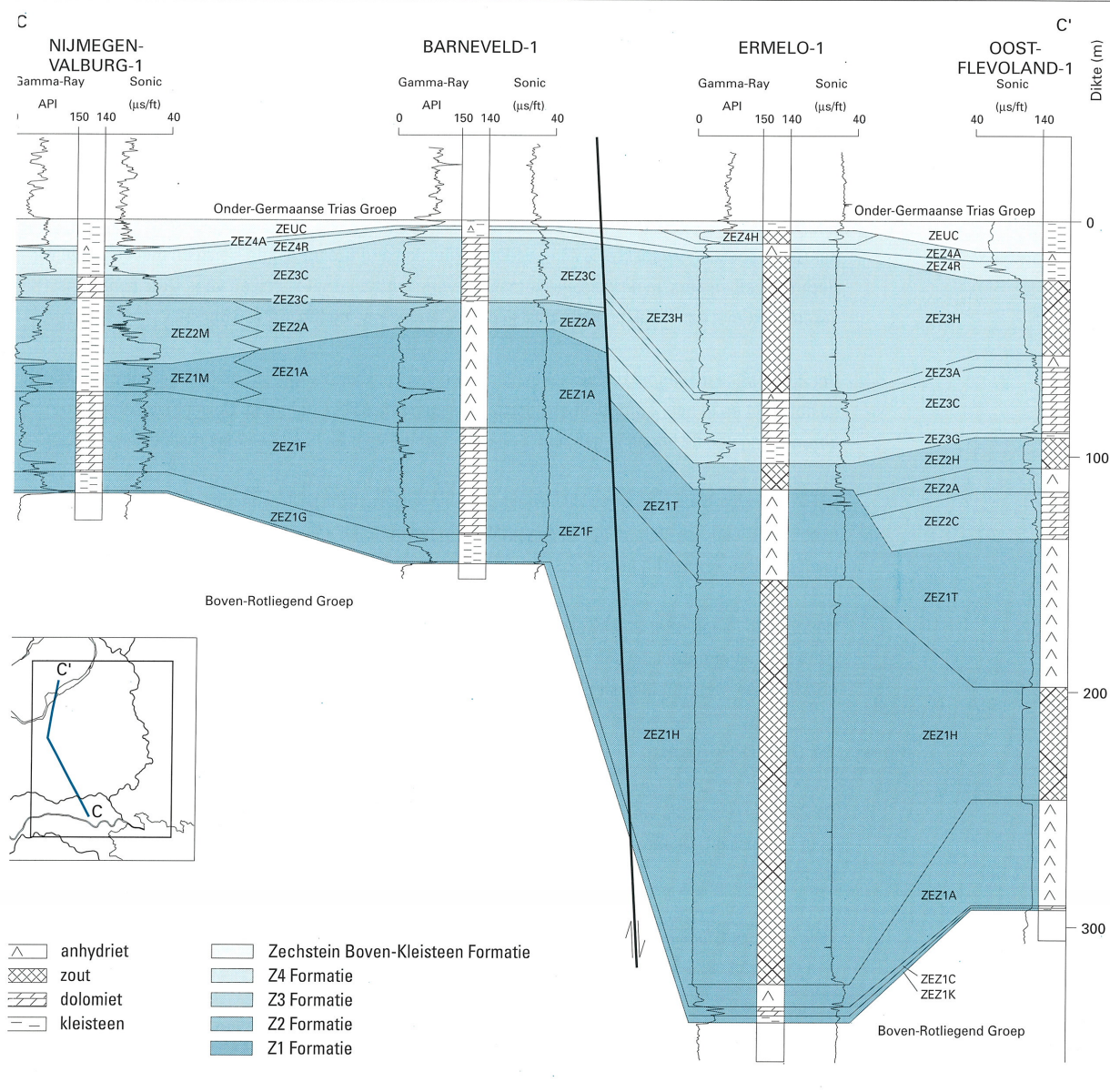
Het *Z4 Pegmatiet-Anhydriet Laagpakket* bestaat uit een grofkristallijne afzetting van anhydriet en steenzout. De dikte bedraagt maximaal 2 m.

Het *Z4 Zout Laagpakket* bestaat uit kleurloze tot roodbruine haliet en komt slechts voor in het centrale deel van het Centraal-Nederlands Bekken, met een dikte tot 11 m.



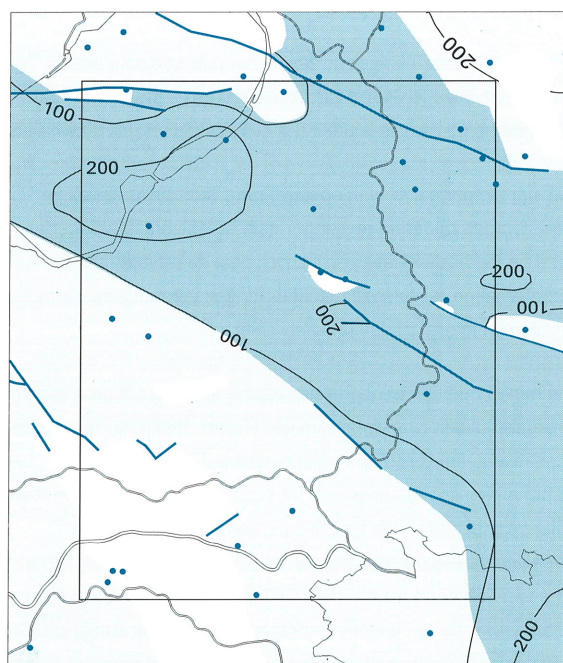
### 6.1.5 Zechstein Boven-Kleisteel Formatie

De Zechstein Boven-Kleisteel Formatie ligt met een hiaat op de afzettingen van de Z4 (Aller) Formatie (fig. 6.1). De afzettingen, met een dikte van 10 m in het zuiden tot 35 m in het noordoosten van het kaartbladgebied, bestaan uit rode en grijze anhydritische kleistenen. Deze kleistenen kenmerken zich door lage akoestische snelheden.



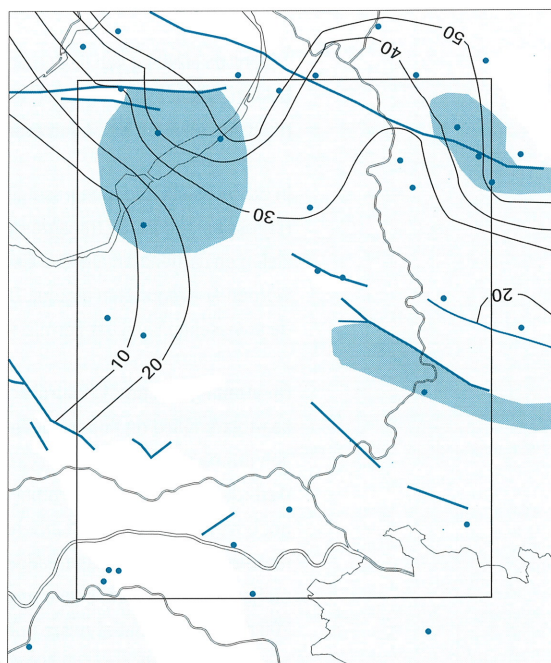
Figuur 6.3 Stratigrafisch profiel C-C' van de Zechstein Groep tussen de boringen Nijmegen-Valburg-1, Barneveld-1, Ermelo-1 en Oost-Flevoland-1. Het referentieniveau is de basis van de Onder-Germaanse Trias Groep.





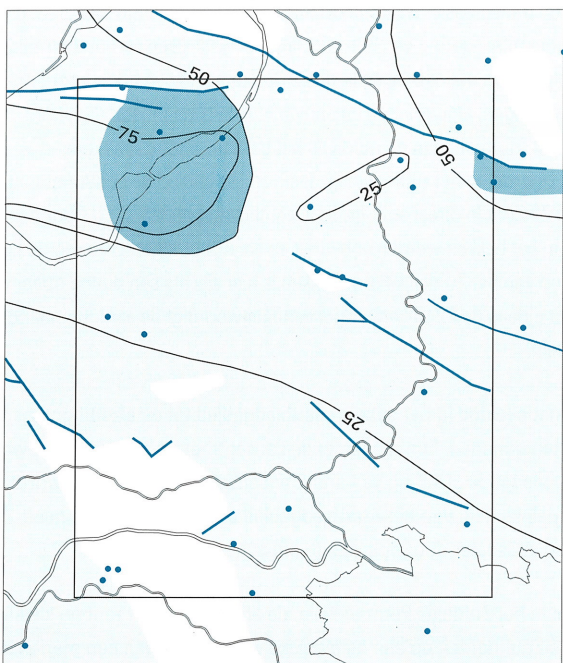
■ verbreiding Zechstein 1 Zout Lp  
 100 diktecontour (m)  
 — breuk  
 • boring

a.



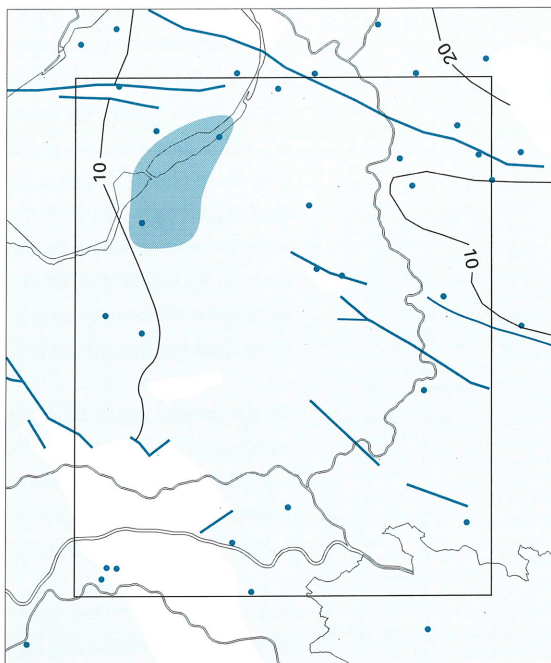
■ verbreiding Zechstein 2 Zout Lp

b.



■ verbreiding Zechstein 3 Zout Lp

c.



■ verbreiding Zechstein 4 Zout Lp

d.

Figuur 6.4 Dikteaarten van de a. Z1 (Werra), b. Z2 (Stassfurt), c. Z3 (Leine) en d. Z4 (Aller) Formaties met de zoutverbreiding.

## 6.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

Tijdens de afzetting van de Zechstein Groep lag het kaartbladgebied aan de zuidrand van het Zuidelijk Perm Bekken. Onder invloed van het heersende aride klimaat, de vorm van het bekken en de periodieke instroming van zeewater en de successievelijke indamping hiervan konden zich dikke evaporietcycli ontwikkelen.

In de Zechstein Groep representeren de vier evaporietcycli een opeenvolging van transgressies en regressies. Tijdens de transgressieve fase werden onder ongeveer normale saliene omstandigheden, kleien en carbonaten afgezet. Gedurende de regressieve fase van de cycli nam de saliniteit toe en werden er evaporieten afgezet. Deze grootschalige zeespiegelfluctuaties hingen vermoedelijk samen met de afwisseling van Laat-Permische glacialen en interglacialen (Ziegler, 1990).

De afzetting van de Z1 (Werra) Formatie begon met een transgressie, waarbij in een groot deel van het kaartbladgebied de Koperschalie werd afgezet in een zuurstofarm milieu (Taylor, 1987). Hierna volgde een dunne opeenvolging van carbonaten in aanvankelijk diep mariene omstandigheden (>50 m waterdiepte). Tijdens de afzetting werd het milieu snel ondieper; de inschakeling van anhydrietknollen in het bovenste deel van de carbonaat wijst op sabkha-achtige afzettingsomstandigheden. Het noordoosten van het kaartbladgebied maakte tijdens de afzetting van de Z1 Anhydriet deel uit van een ondiep platform, waar snelle precipitatie van anhydriet plaats vond. De belasting van een dik pakket (tot 200 m) van het relatief zware mineraal anhydriet en een tektonisch differentiatie van het substraat (Geluk et al., 1997) leidde tot een sterke reactivatie van oude (Varistische) breukzones. In de depressies tussen de breukzones werden de dikste pakketten Z1 Zout afgezet. De zoutverbreiding in het kaartbladgebied vertoont de NW-ZO richting van de breuken. In het zuidwesten van het kaartblad gebied vinden we klastische afzettingen, evenals rond de Raalte Randbreuk, hetgeen wijst op reactivatie van deze breuk.

De Z2 (Stassfurt) Formatie begon met een transgressie, waarbij normale saliene omstandigheden in het grootste deel van het gebied heersten, met uitzondering van het zuidelijk deel waar geen carbonaten zijn afgezet. In het noorden vond afzetting plaats van oöliet-banken in de Z2 Carbonaat in een hoog-energetisch marien milieu, fijnkorrelige lagunaire afzettingen, algenmatten en anhydriet in sabkha omstandigheden. In het zuidoosten bevond zich een uitgestrekt zoutmeer aan de rand van het bekken, waarin afwisselend anhydriet en steenzout werden afgezet. Doordat in het zuidoostelijk deel van het gebied de anhydrieten uit de Z1-cyclus ontbreken, vinden we hier Z2 Zout in direct stratigrafisch contact met het Z1 Zout. Door een toenemende concentratie van de pekels in het bekken werden anhydriet en steenzout afgezet; gezien de ligging van het kaartbladgebied aan de rand van het Zuidelijk Perm Bekken is hier slechts een dunne opeenvolging afgezet. De afname van de saliniteit tijdens de Z2 Dakanhydriet vertegenwoordigt de aanloop naar de derde grote transgressie van het Zechstein.

De transgressie van de Z3 (Leine) Formatie leidde in het gehele kaartbladgebied tot de afzetting van carbonaat onder ondiep-mariene omstandigheden. Een toenemende concentratie van de in het zeewater opgeloste zouten leidde achtereenvolgens tot de afzetting van anhydriet en steenzout. Het zout wordt slechts in lokale depressies in de noordelijke helft van het kaartbladgebied aangetroffen, maar heeft mogelijk een grotere verbreiding gehad en is later door oplossing verdwenen.

Het hypersaliene karakter van de pekels in het Zuidelijk Perm Bekken, de afwisseling van zout en kleisteen en de geringere verbreiding van het Z4 Zout duiden op een geleidelijke verandering van een marien in een continentaal evaporietbekken. De ligging aan de rand van het bekken blijkt uit de geringe verbreiding van het Z4 Zout in het noordwesten van het kaartbladgebied.

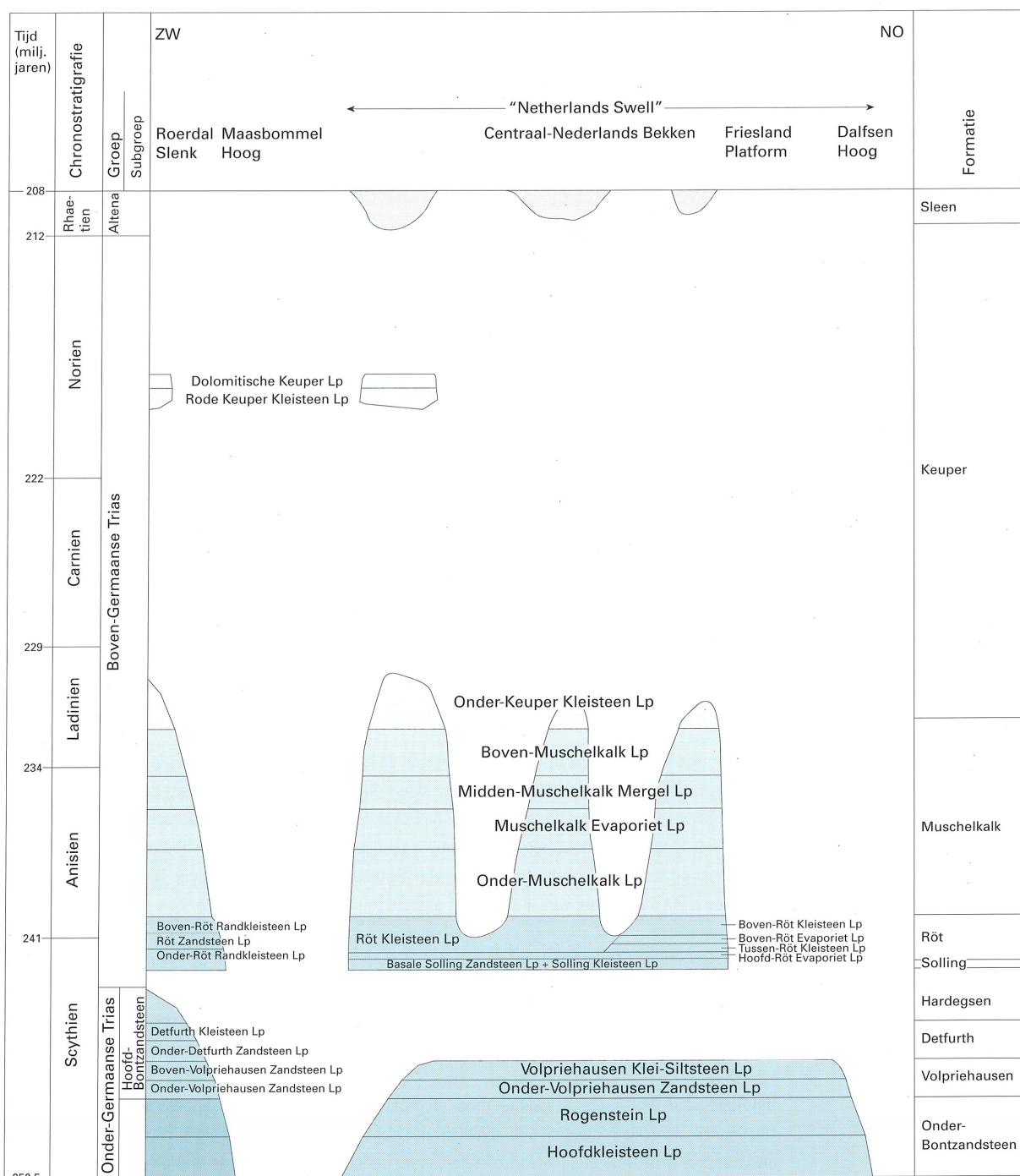
Met een hiaat rusten de kleien van de Boven-Zechstein Kleisteen Formatie op de Z4 (Aller) Formatie; deze kleien vertegenwoordigen de overgang van de evaporietafzettingen van de Zechstein Groep naar de lacustriene afzettingen van de Onder-Germaanse Trias Groep.



# 7 Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep

## 7.1 Algemeen

De Trias afzettingen bestaan voornamelijk uit rode en groene klastische sedimenten en grijs gekleurde kalken, mergels en evaporieten. Binnen de Trias afzettingen worden de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep onderscheiden (fig. 7.1) die een Laat-Perm/Scythien tot Norien ouderdom hebben.



Figuur 7.1 Stratigrafisch overzicht van de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep.

De afzettingen van de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep komen, met uitzondering van enkele lokale hogen in het Centraal-Nederlands Bekken, het Maasbommel Hoog en het Dalfsen Hoog, in het gehele kaartbladgebied voor. De grootste dikte van deze afzettingen, ruim 1200 m, wordt bereikt in het westen en in het centrale deel van het kaartblad (Kaart 5). De afzettingen liggen concordant op de Zechstein Groep en worden discordant bedekt door de Altena, de Nedersaksen, de Rijnland, de Krijtkalk Groep of de Noordzee Supergroep (Kaarten 16, 17 & 18).

De basis van de afzettingen varieert in diepteligging van minder dan 600 m nabij Lochem in het oosten van het kaartbladgebied tot meer dan 4000 m bij Oost-Flevoland (Kaart 4). De Trias afzettingen zijn sterk verbroken door latere differentiële tektoniek en de diktevariatie is aanzienlijk door erosie.

De lithostratigrafische opbouw van de Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep wordt geïllustreerd door middel van twee boringen en twee stratigrafische profielen (fig. 7.2, 7.3, 7.6 & 7.7).

## **7.2 Onder-Germaanse Trias Groep**

### **7.2.1 Stratigrafie**

Binnen deze groep worden in het kaartbladgebied vier formaties onderscheiden, de Onder-Bontzandsteen, de Volprieausen, de Detfurth en de Hardeggen Formatie (fig. 7.1). 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. 7.1). Binnen de groep komen aan de basis van de Volprieausen en Detfurth Formatie kleine discordanties voor, die lokaal erosie van enkele tientallen meters kunnen representeren (Geluk & Röhling, 1997).

De Onder-Germaanse Trias Groep ligt concordant op de Zechstein Groep en wordt discordant bedekt door de Boven-Germaanse Trias (fig. 7.1), de Rijnland Groep of de Noordzee Supergroep. De ouderdom is Laat-Perm tot Scythien.

### **7.2.2 Onder-Bontzandsteen Formatie**

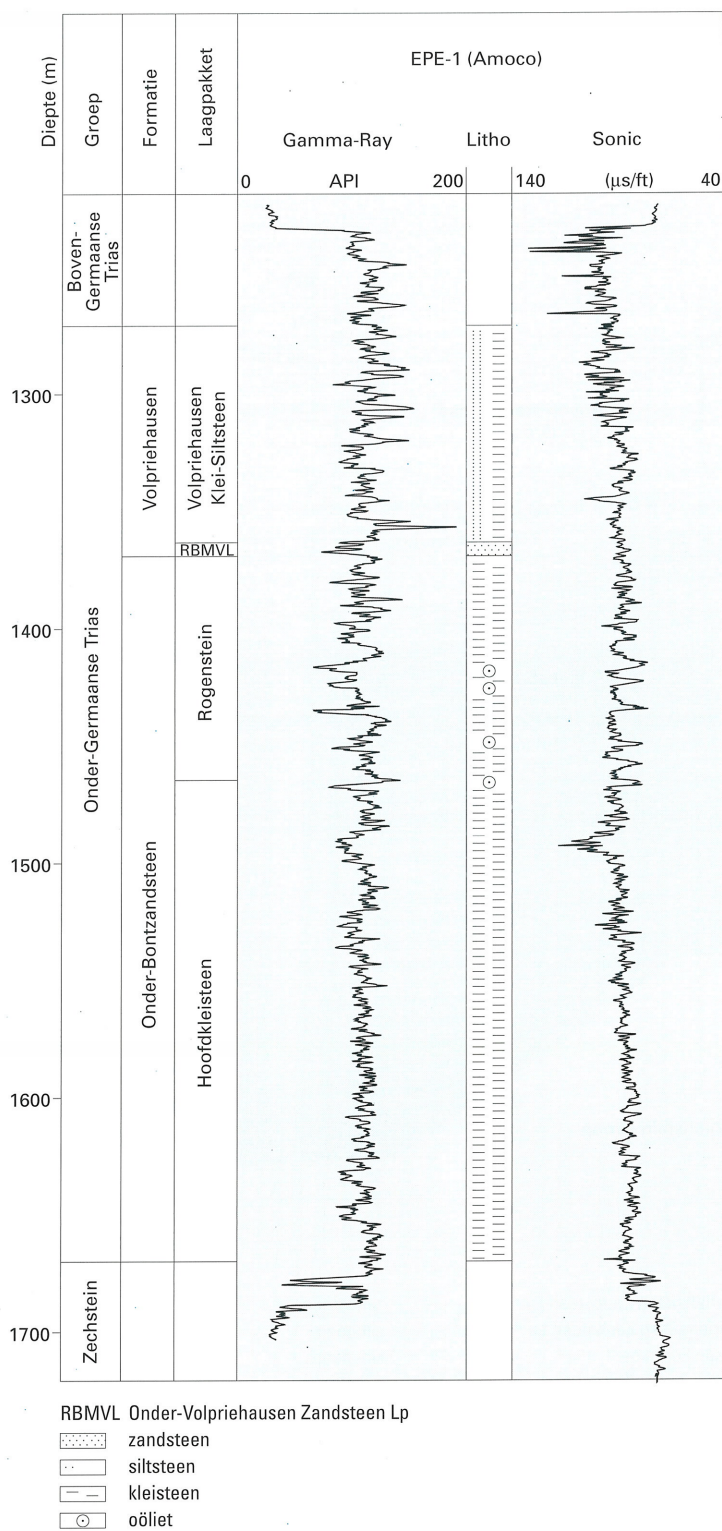
Deze formatie is opgebouwd uit het Hoofdkleisteel en het Rogenstein Laagpakket (fig. 7.1 & 7.2). De formatie wordt, met een scherpe grens die een kleine discordantie markeert, bedekt door de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep, of discordant door de Boven-Germaanse Trias, de Nedersaksen, de Rijnland Groep of de Noordzee Supergroep. De formatie is zeer gelijkmatig van dikte en lithologie en is goed herkenbaar op seismische profielen vanwege zijn akoustisch transparante karakter. De dikte neemt in noordoostelijke richting toe van 200 m in het uiterste zuiden tot circa 350 m (fig. 7.4).

Het *Hoofdkleisteel Laagpakket* 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 van het kaartbladgebied nemen deze zandsteenbanken in dikte toe. De dikte van het complete laagpakket bedraagt 150 tot 200 m.

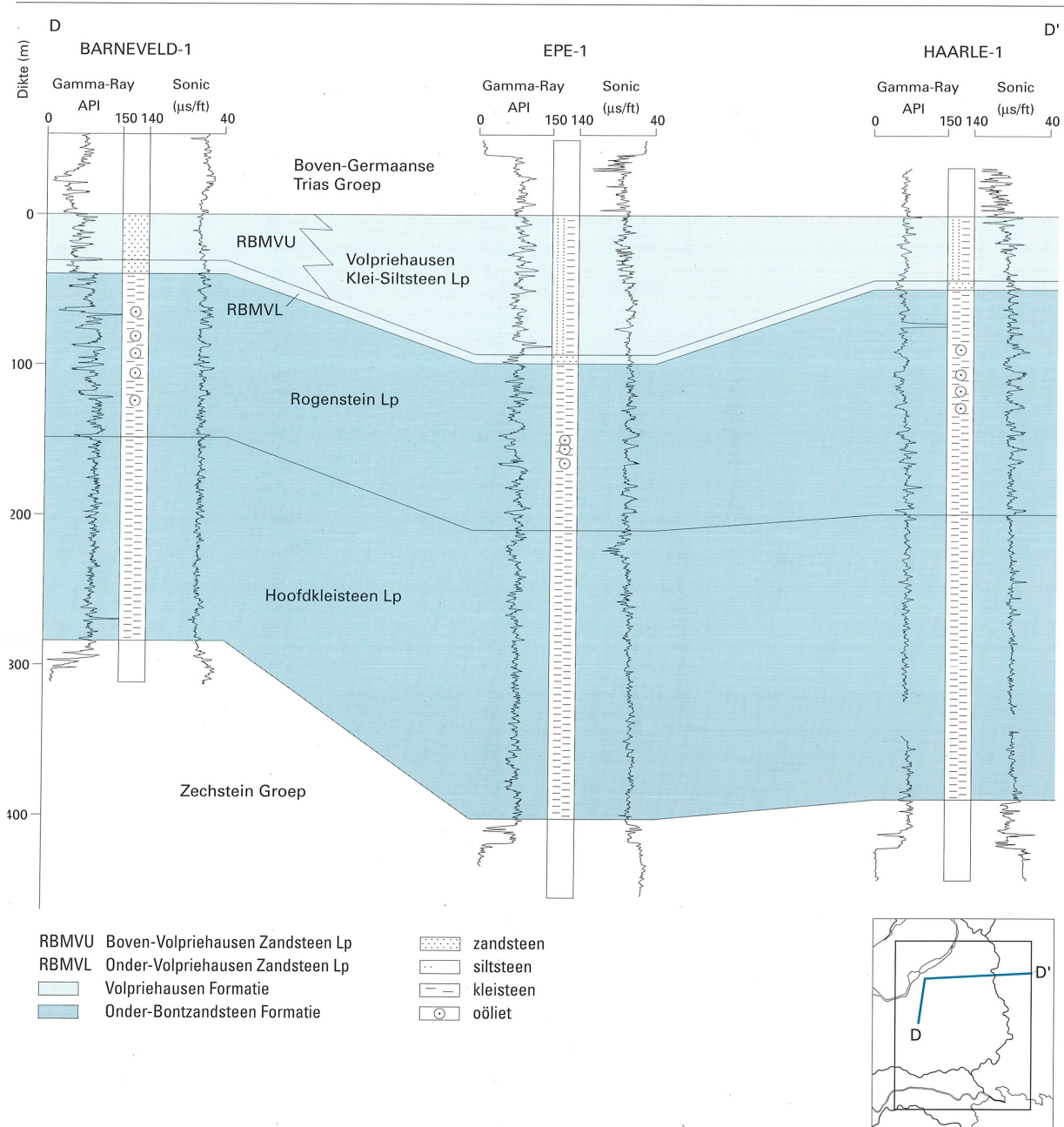
Het *Rogenstein Laagpakket* bestaat uit rood- en groengekleurde fijnzandige, fijngelamineerde klei- en siltstenen met veel glimmers en oölietbanken. Het laagpakket bestaat eveneens uit een cyclische afwisseling van grovere en fijnere afzettingen, maar onderscheidt zich van de Hoofdkleisteel door het veelvuldig voorkomen van oölieten aan de basis van de cycli, die het pakket zijn karakteristieke verschijningsvorm geven. In de fijnkorrelige afzettingen treden veelvuldig krimpscheuren op. Naar het



Figuur 72 Stratigrafische indeling en logkarakteristiek van de Onder-Germaanse Trias Groep in de boring Epe-1.



zuiden toe, met name in de Roerdal Slenk, gaan de oölietbanken over in zandstenen. De oölietbanken geven de Rogenstein een karakteristiek logbeeld door de lage gamma-ray straling, hoge dichtheid en hoge akoestische snelheid. De dikte van het laagpakket neemt in noordelijke richting toe van 90 tot 180 m. De geringe dikte in het zuiden wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door erosie voorafgaand aan de afzetting van de Volpriehausen Formatie.



Figuur 7.3 Stratigrafisch profiel D-D' van de Onder-Germaanse Trias Groep tussen de boringen Barneveld-1, Epe-1 en Haarle-1. Het referentieniveau is basis Boven-Germaanse Trias Groep.



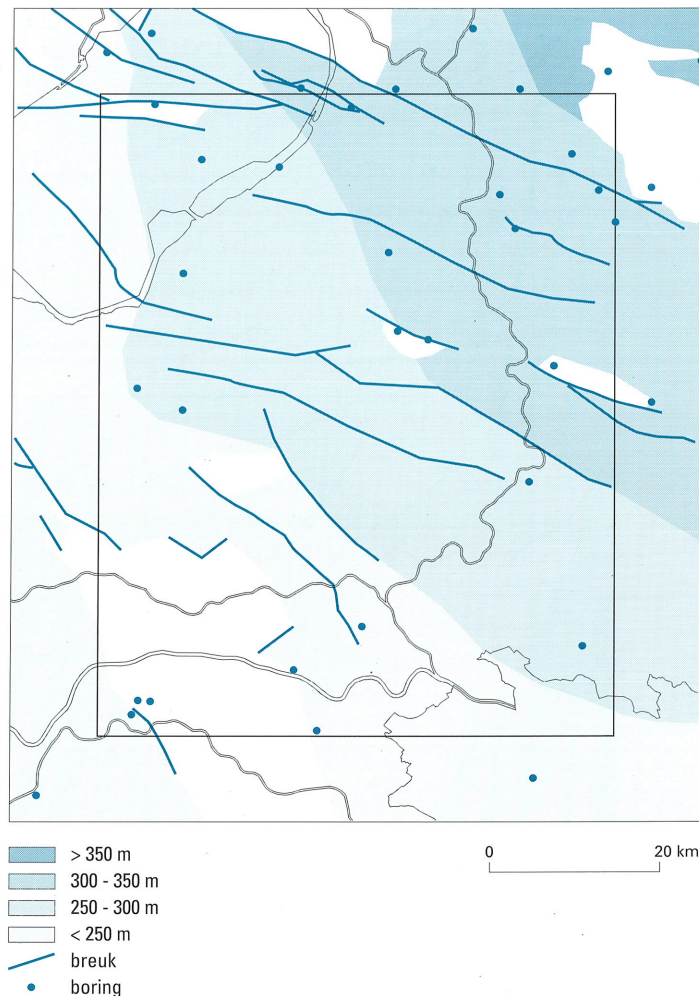
### 7.2.3 Hoofd-Bontzandsteen Subgroep

Deze subgroep bestaat uit een afwisseling van klei-, silt- en zandsteen. Binnen het kaartbladgebied varieert de dikte van de subgroep van 20 m in het Centraal-Nederlands Bekken tot bijna 300 m ten zuidwesten van het Maasbommel Hoog, in de Roerdal Slenk. Binnen de subgroep worden drie formaties onderscheiden; de Volpriehausen, de Detfurth en de Hardegse Formatie (fig. 7.1 & 7.5).

De variatie in de dikte van deze subgroep is het gevolg van erosie vóór de afzetting van de Solling Formatie van de Boven-Germaanse Trias Groep. In het grootste gedeelte van het kaartbladgebied is alleen de Volpriehausen Formatie bewaard gebleven en alleen in de Roerdal Slenk, zijn alle formaties aanwezig.

De Hoofd-Bontzandsteen Subgroep ligt met een scherpe grens, die een klein hiaat markeert, op de Onder-Bontzandsteen Formatie en wordt discordant bedekt door de Boven-Germaanse Trias Groep.

Figuur 7.4 Diktekaart van de Onder-Bontzandsteen Formatie.



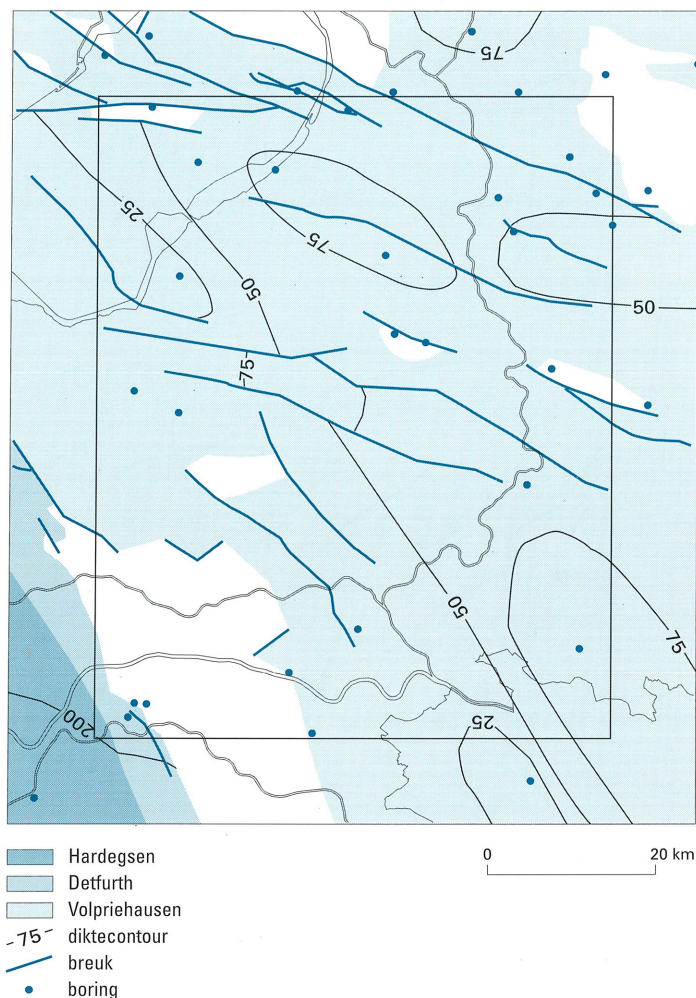
### 7.2.3.1 Volpriehausen Formatie

De Volpriehausen Formatie wordt onderverdeeld in het Onder-Volpriehausen Zandsteen en het Volpriehausen Klei-Siltsteen Laagpakket en in de Roerdal Slenk en in het westelijk deel van het kaartblad in het Onder- en het Boven-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket. De formatie ligt met een klein hiaat op de Onder-Bontzandsteen Formatie en wordt in het zuidwesten discordant bedekt door de Detfurth Formatie en in de rest van het kaartbladgebied door de Solling Formatie. De formatie bereikt de grootste dikte, bijna 100 m, in de boring Epe-1.

Het *Onder-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket* ligt met een scherpe grens op de onderliggende formatie en wordt bedekt door het Volpriehausen Klei-Siltsteen of het Boven-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket. De zandsteen is over het algemeen fijnkorrelig en kalkhoudend. De dikte van het laagpakket varieert van enkele meters tot 40 m.

Het *Boven-Volpriehausen Zandsteen Laagpakket* bestaat uit een opeenvolging van lichtgekleurde zand- en siltsteenbanken met aan de basis een dunne, gelamineerde siltsteen, die regionaal goed te vervolgen is. De meest complete opeenvolging van bijna 70 m, is aangetroffen in de Roerdal Slenk en wordt bedekt

Figuur 75 Afgedekte kaart van de discordantie onder de Boven-Germaanse Trias Groep (basis Solling Formatie) met de dikte van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep.





door de Onder-Detfurth Zandsteen. In noordelijke richting neemt het aandeel van klei- en siltlagen snel toe, en gaat de eenheid over in het Volprieausen Klei-Siltsteen Laagpakket (fig. 7.3).

Het *Volprieausen Klei-Siltsteen Laagpakket* bestaat uit een cyclisch opgebouwd pakket van rode, fijnzandige klei-siltsteen met rode tot groene, fijnkorrelige zandsteenbanken. De zandsteenbanken bevatten soms oölieten. De eenheid wordt bedekt door de Solling Formatie. De meest complete opeenvolging, ruim 90 m, is aangetroffen in de boring Epe-1.

### **7.2.3.2 Detfurth Formatie**

De Detfurth Formatie wordt onderverdeeld in het Onder-Detfurth Zandsteen en het Detfurth Kleisteen Laagpakket en is slechts aanwezig in de Roerdal Slenk. De Detfurth Formatie ligt discordant op de Volprieausen Formatie en wordt concordant bedekt door de Hardeggen Formatie of discordant door de Solling Formatie. De grootste dikte van 60 m wordt bereikt in de boring Maasbommel-1.

Het *Onder-Detfurth Zandsteen Laagpakket* bestaat uit een complex van middelfijne tot grofkorrelige, roodbruine zandsteen en eveneens roodgekleurde klei-siltsteen lagen. De eenheid wordt door de inschakeling van een klei-siltsteenpakket in twee zandsteenintervallen verdeeld. Het onderste zandsteeninterval is ca. 10 m dik en is met kalk, anhydriet of silica gecementeed. Het klei-siltsteen pakket is enkele meters dik en is roodbruin van kleur en bevat enige kalklaagjes. Het bovenste zandsteeninterval, met een dikte van 10 m, heeft vaak een geblokt karakter op de boorgatmetingen.

Het *Detfurth Kleisteen Laagpakket* is opgebouwd uit fijnzandige of siltige, overwegend roodbruin gekleurde kleisteen. De kleisteen bevat enkele banken van met kalk of silica gecementeerde fijn- tot middelgrove zandsteen. De maximale dikte van de eenheid bedraagt 35 m in de Roerdal Slenk.

### **7.2.3.3 Hardeggen Formatie**

Afzettingen van de Hardeggen Formatie zijn niet aangeboord in het kaartblad, maar aangenomen wordt dat deze formatie in de Roerdal Slenk in het uiterste zuidwesten van het kaartblad nog aanwezig is. Deze formatie bestaat uit een snelle afwisseling van dunne laagjes middelgrove, met kalk of silica gecementeerde zandsteen en siltige of fijnzandige kleisteen. De afzettingen zijn roodbruin, lokaal grijs van kleur. De dikte van de formatie bedraagt net ten westen van het kaartbladgebied al 70 m.

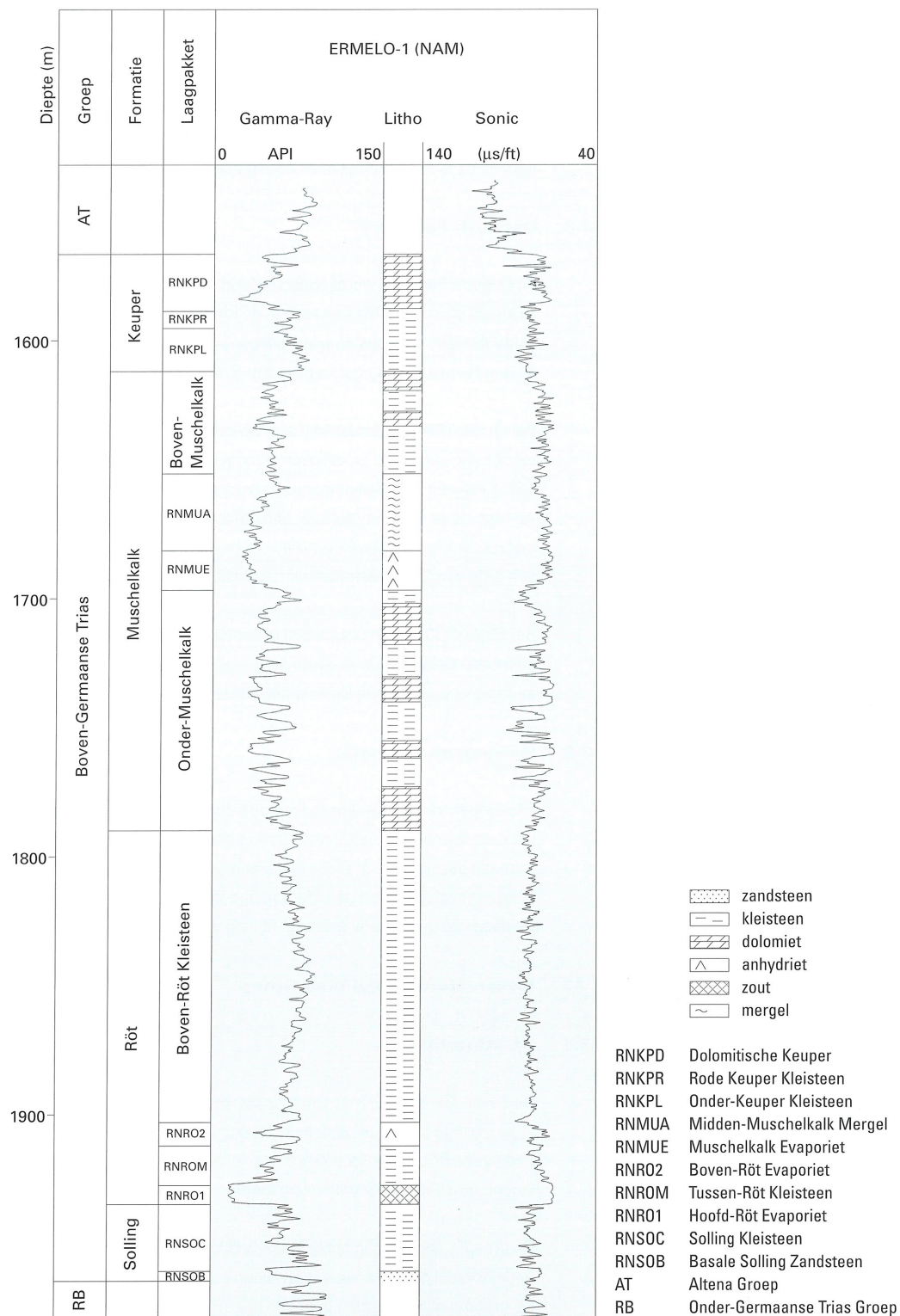
## **7.3 Boven-Germaanse Trias Groep**

### **7.3.1 Stratigrafie**

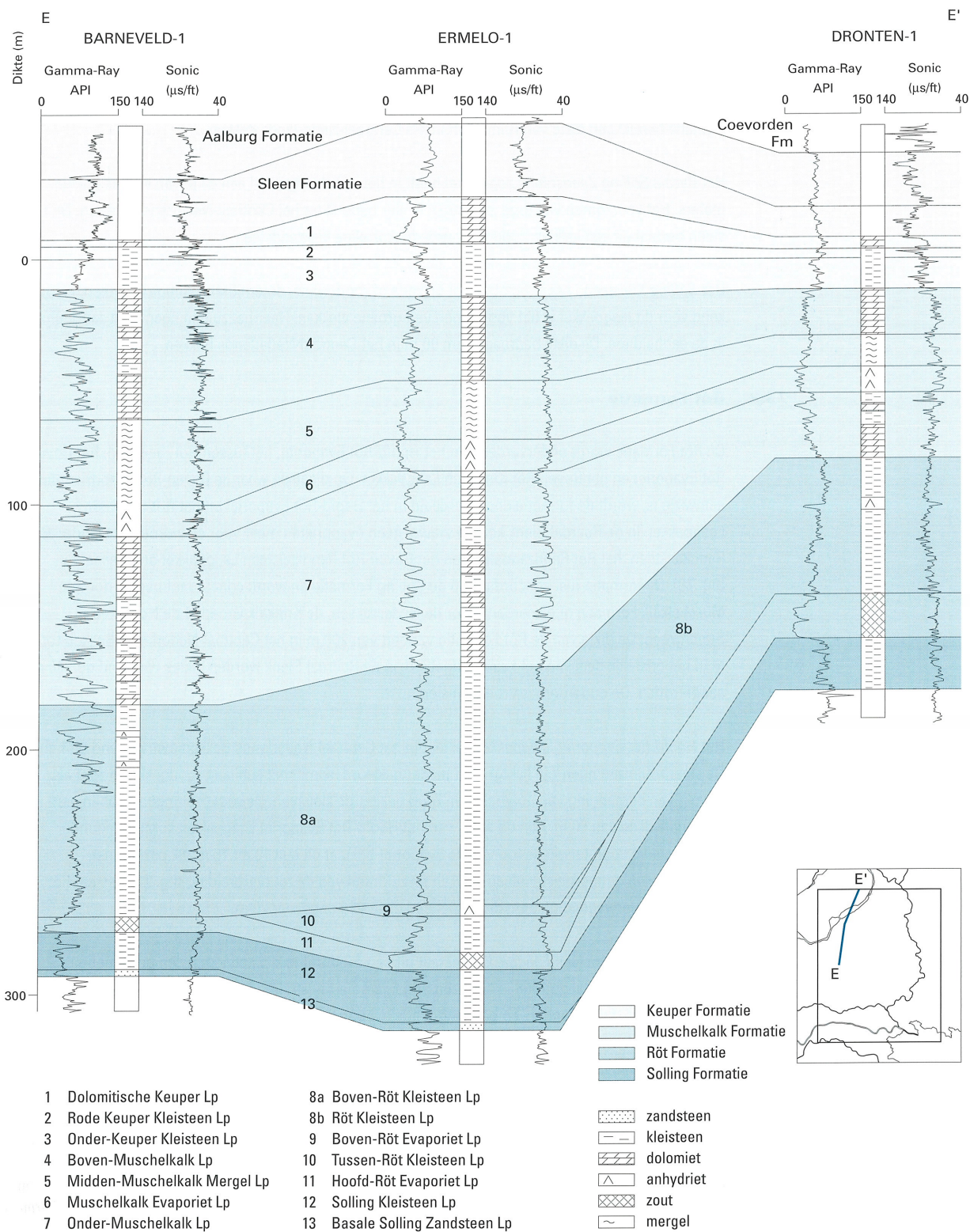
De Boven-Germaanse Trias Groep is opgebouwd uit een afwisseling van kleisteen, kalksteen, evaporiet en in geringe mate ook zandsteen. Binnen de Boven-Germaanse Trias Groep worden in dit gebied de Solling, de Röt, de Muschelkalk en de Keuper Formatie onderscheiden (fig. 7.1, 7.6 & 7.7). De ouderdom van de groep is Laat-Scythien tot Norien.

De groep is aanwezig in het centrale deel van het kaartbladgebied, uitgezonderd op de lokale hogen, en in de Roerdal Slenk. In het noordwesten en op het Maasbommel Hoog ontbreekt de groep (fig. 7.8 & 7.9). De groep rust, gescheiden door een discordantie, op de Onder-Germaanse Trias Groep en wordt, met een hiaat of discordant, bedekt door de Altena, de Nedersaksen, de Rijnland, de Krijtkalk Groep of de Noordzee Supergroep.

Figuur 7.6 Stratigrafische indeling en logkarakteristiek van de Boven-Germaanse Trias Groep in de boring Ermelo-1.







### 7.3.2 Solling Formatie

De Solling Formatie wordt onderverdeeld in het Basale Solling Zandsteen en het Solling Kleisteen Laagpakket. De formatie ligt discordant op de Onder-Germaanse Trias Groep en wordt concordant bedekt door de Röt Formatie of discordant door de Rijnland Groep of de Noordzee Supergroep. De formatie bereikt een dikte van ruim 90 m in het Centraal-Nederlands Bekken.

Het *Basale Solling Zandsteen Laagpakket* heeft in het kaartbladgebied een dikte van slechts enkele meters. Het voorkomen van deze zandsteen is hier beperkt tot het Centraal-Nederlands Bekken. De zandsteen bestaat uit een kalkige, rood gekleurde fijnkorrelige kalkzandsteen.

Het *Solling Kleisteen Laagpakket* bestaat uit rode of roodbruine, dolomitische, siltige kleisteen; kenmerkend voor dit laagpakket is het voorkomen van groene vlekken. Naar het zuiden neemt het zandgehalte in de eenheid toe. De dikte bedraagt ruim 90 m in het Centraal-Nederlands Bekken.

### 7.3.3 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. Op plaatsen waar de Boven-Röt Evaporiet niet aanwezig is, wordt de formatie onderverdeeld in het Hoofd-Röt Evaporiet en het Röt Kleisteen Laagpakket. In de Roerdal Slenk komen vrijwel geen evaporieten meer voor en worden het Onder-Röt Randkleisteen, het Röt Randzandsteen en het Boven-Röt Randkleisteen Laagpakket onderscheiden (fig. 7.8). De formatie rust concordant op de Solling Formatie en wordt concordant bedekt door de Muschelkalk Formatie of discordant door de Nedersaksen, de Krijtkalk Groep of de Noordzee Supergroep. De dikte van de Röt Formatie varieert van 200 m in het Centraal-Nederlands Bekken tot 50 m in het oostelijk deel van het kaartbladgebied; in de Roerdal Slenk worden diktes van rond de 200 m aangetroffen. De ouderdom is Vroeg-Anisien.

Het *Hoofd-Röt Evaporiet Laagpakket* bestaat in het Centraal-Nederlands Bekken overwegend uit haliet. De steenzoutafzettingen zijn lichtgrijs of helder gekleurd, soms met een laag roodgekleurd zout als gevolg van bijmenging van polyhaliet en rood gekleurde kleisteen. De zoutafzettingen hebben een maximale dikte van 50 m. Aan de basis van het Hoofd-Röt Evaporiet Laagpakket komt een dunne anhydrietlaag voor, terwijl de top van de evaporiet bestaat uit een 10 tot 15 m dik pakket met ingeschakelde dunne kleisteenlaagjes. Aan de zuidrand van de zoutverbreding (fig. 7.8) bestaat het laagpakket overwegend uit anhydriet, met een dikte van ongeveer 20 m.

Het *Tussen-Röt Kleisteen Laagpakket* bestaat uit een roodbruine kleisteen, met een gelijkmatige dikte van 20 tot 30 m. Dit laagpakket is door zijn hoge gamma-ray straling goed op de boorgatmetingen te onderscheiden van de onder- en bovenliggende evaporiet laagpakketten.

Het *Boven-Röt Evaporiet Laagpakket* is in het kaartbladgebied in anhydrietfacies ontwikkeld en bestaat uit een afwisseling van anhydriet en dunne kleisteenlaagjes. De dikte van het pakket bedraagt enkele meters.

Het *Boven-Röt Kleisteen Laagpakket* bestaat uit paarse, fel oranje- of donkerrode, roodbruine of groene kleisteen. De kleisteen is vaak siltig of zandhoudend; ook komen gipsknollen voor. In het bovenste deel, circa 50 m dik, worden de kleistenen afgewisseld met mergel en dunne kalksteenlaagjes. De eenheid heeft een dikte van ruim 100 m in het Centraal-Nederlands Bekken.



Op plaatsen waar het Boven-Röt Evaporiet Laagpakket niet aanwezig is, wordt de formatie onderverdeeld in het Hoofd-Röt Evaporiet en het Röt Kleisteen Laagpakket.

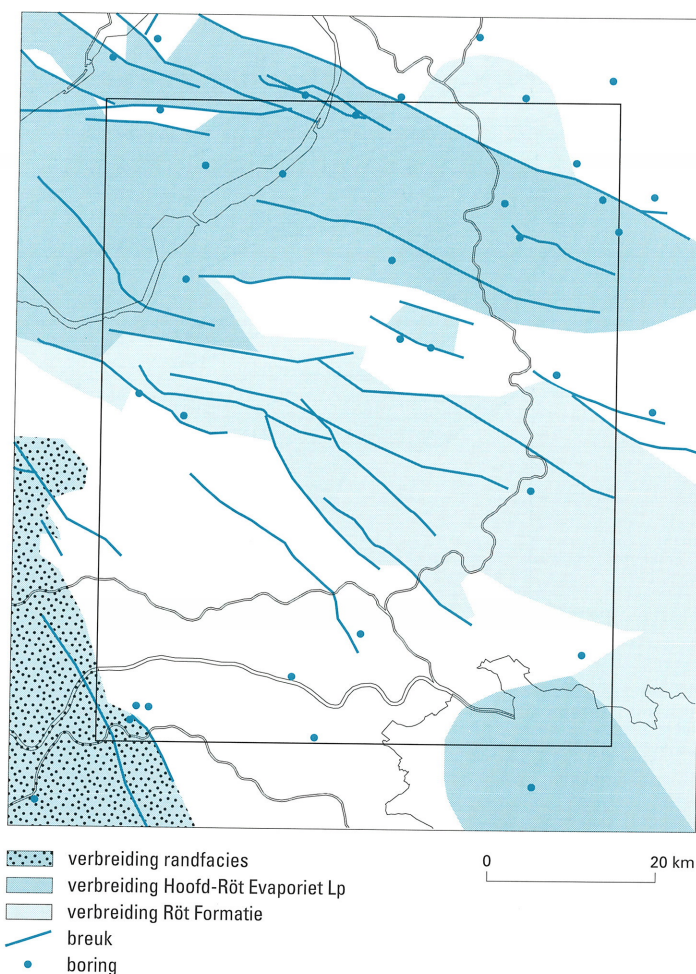
Het *Röt Kleisteen Laagpakket* heeft dezelfde lithologische samenstelling als het Boven-Röt Kleisteen Laagpakket en heeft eveneens een maximale dikte rond de 100 m.

Het *Onder-Röt Randkleisteen Laagpakket* komt voor in de Roerdal Slenk. De eenheid bestaat uit een roodbruine, siltige kleisteen en heeft een dikte van bijna 100 m.

Het *Röt Randzandsteen Laagpakket* bestaat uit een afwisseling van grijze, arkosische zandsteen en roodbruine kleisteen banken en bereikt een dikte van ongeveer 50 m. In noordelijke richting neemt de zanddikte snel af.

Het *Boven-Röt Randkleisteen Laagpakket* bestaat uit een siltige, soms zandige kleisteen. In het laagpakket komen enkele dunne dolomietbanken voor. De dikte van de eenheid bedraagt eveneens ongeveer 50 m.

Figuur 7.8 Verbreiding Röt Formatie met zoutverbreiding en randfacies.

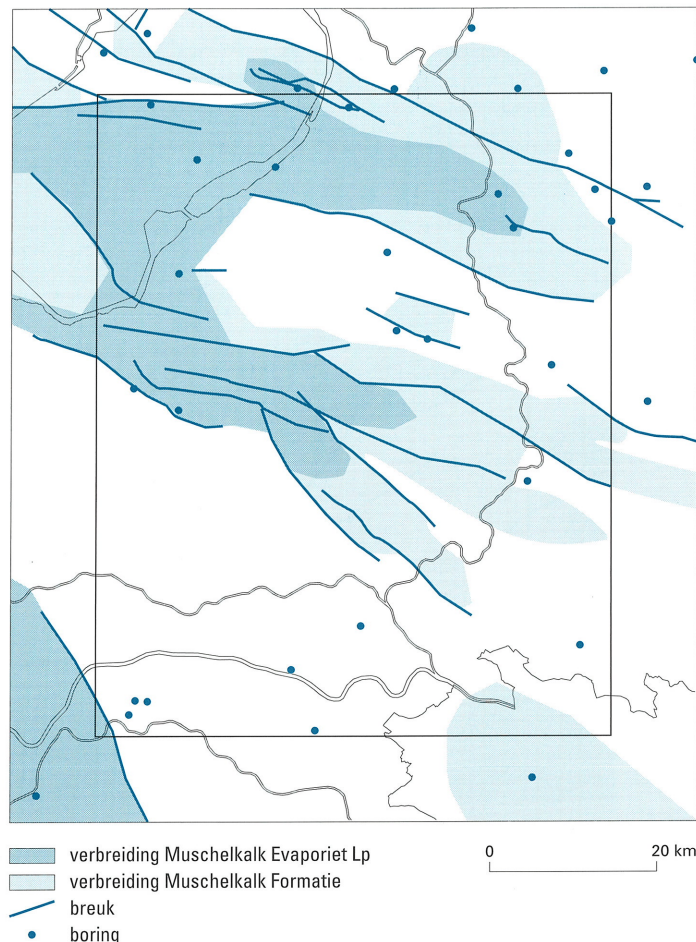


### 7.3.4 Muschelkalk Formatie

De Muschelkalk Formatie wordt in het kaartbladgebied onderverdeeld in het Onder-Muschelkalk, het Muschelkalk Evaporiet, het Midden-Muschelkalk Mergel en het Boven-Muschelkalk Laagpakket. De verbreiding en dikte van deze formatie zijn sterk bepaald door de opheffing en erosie ten gevolge van de Vroeg-Kimmerische en latere tektonische fasen; de meest complete opeenvolging is te vinden in slenken in het Centraal-Nederlands Bekken en in de Roerdal Slenk (fig. 7.9). In het zuidwesten en noordoosten van het kaartbladgebied en op de hogen in het Centraal-Nederlands Bekken is de formatie geheel afwezig. De formatie wordt discordant bedekt door de Keuper Formatie, de Altena, de Krijtkalk Groep of de Noordzee Supergroep (Kaarten 16, 17 en 18). De formatie heeft een Anisien tot Ladinien ouderdom en de dikte bedraagt maximaal 200 m.

Het *Onder-Muschelkalk Laagpakket* bestaat uit een grijze, mergelige tot kleiige kalksteen, met inschakelingen van dolomiet, mergel en kleisteen. De eenheid komt eveneens in de slenken in het Centraal-Nederlands Bekken en in de Roerdal Slenk voor. Het wordt discordant bedekt door de Keuper Formatie, de Altena Groep of de Noordzee Supergroep. Daar waar het laagpakket concordant door de het Muschelkalk Evaporiet Laagpakket wordt bedekt worden diktes aangetroffen van meer dan 100 m.

Figuur 7.9 Verbreiding Muschelkalk Formatie met zoutverbreiding.





Het *Muschelkalk Evaporiet Laagpakket* is opgebouwd uit steenzout en anhydriet en komt slechts in een klein gebied in het noorden van het Centraal-Nederlands Bekken en in de Roerdal Slenk voor (fig. 7.9). In het Centraal-Nederlands Bekken worden voornamelijk anhydrieten aangetroffen en in de Roerdal Slenk is steenzout afgezet met een dikte van ongeveer 30 m.

Het *Midden-Muschelkalk Mergel Laagpakket* bestaat uit een grijze dolomitische mergel met een naar boven toe toenemend kleigehalte. Het pakket heeft ongeveer hetzelfde verbreidingsgebied als het Muschelkalk Evaporiet Laagpakket. De dikte bedraagt 15 tot 40 m.

Het *Boven-Muschelkalk Laagpakket* bestaat uit een opeenvolging van lichtbruine tot grijze dolomiet en mergel. Het laagpakket, dat door erosie gereduceerd is, is slechts lokaal aanwezig in het Centraal-Nederlands Bekken. Het heeft een dikte van 15 tot 60 m.

### 7.3.5 Keuper Formatie

De Keuper Formatie bestaat overwegend uit kleisteen en dolomietlagen. De formatie komt voor in het westelijke en noordelijke deel van het kaartbladgebied en is verregaand incompleet. Van de zeven laagpakketten, die erin onderscheiden worden, zijn slechts het Onder-Keuper Kleisteen, het Rode Keuper Kleisteen en het Dolomitische Keuper Laagpakket met een Laat-Ladinien tot Norien ouderdom aanwezig. Aan de basis van het Rode Keuper Kleisteen Laagpakket ligt de Vroeg-Kimmerische discordantie. De formatie bereikt in het Centraal-Nederlands Bekken een dikte van maximaal 40 m en in de Roerdal Slenk wordt een dikte van iets meer dan 60 m bereikt.

Het *Onder-Keuper Kleisteen Laagpakket* bestaat uit groengrijze en roodbruine, dolomitische kleisteen met anhydriet in laagjes en concreties. De eenheid komt slechts lokaal voor in het Centraal-Nederlands Bekken en in de Roerdal Slenk, met een dikte van minder dan 20 m.

Het *Rode Keuper Kleisteen Laagpakket* bestaat uit roodgekleurde en groene kleisteen en rust discordant op het Onder-Keuper Kleisteen Laagpakket. Het laagpakket is slechts in 3 boringen in het westelijk deel van het Centraal-Nederlands Bekken en in de Roerdal Slenk aangetroffen en de dikte bedraagt minder dan 10 m. Het laagpakket verdunt in oostelijke richting en ontbreekt in het aangrenzende kaartblad (NITG-TNO, 1998; Geluk, 1999b). De Rode Keuper Kleisteen is voor het uitvoeren van regionale correlaties van groot belang, daar aan de basis hiervan de Vroeg-Kimmerische discordantie ligt (Wolburg, 1969; Geluk, 1999b).

Het *Dolomitische Keuper Laagpakket* is opgebouwd uit een afwisseling van kleisteen met meerdere - anhydriet- en dolomietlagen. De dolomiet kenmerkt zich door een opvallend lichte kleur. Het laagpakket heeft dezelfde verbreiding als het Rode Keuper Kleisteen Laagpakket en heeft een maximale dikte van 18 m.

### 7.4. Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

De afzettingen van de Onder-Germaanse Trias Groep werden afgezet in een groot continentaal bekken, dat in essentie hetzelfde was als tijdens afzetting van het Zechstein. De aan het eind van het Zechstein ingezette influx van klastisch materiaal zette zich voort in de Trias. Tijdens de Trias heersten aanvankelijk continentale afzettingscondities, die door een geleidelijke stijging van de zeespiegel steeds sterker marien beïnvloed werden. De zeespiegel bereikte een maximum tijdens de afzetting van de Muschelkalk Formatie. Tektonische bewegingen deden zich voor in twee fasen: de Hardegse fase, die leidde tot een hiaat tussen de Onder- en de Boven-Germaanse Trias Groep en de Vroeg-Kimmerische fase, waarvan de eerste puls optrad tijdens de afzetting van de Keuper en de 2de puls aan het einde van de Keuper met als resultaat een hiaat tussen de Boven-Germaanse Trias Groep en de Altena Groep (fig. 7.1).

De Onder-Bontzandsteen Formatie bestaat overwegend uit brak- tot zoetwater lacustriene afzettingen. Het cyclische karakter van de afzettingen wordt geïnterpreteerd als een Milankovitch cycliciteit met een periode van 100.000 jaar (Geluk & Röhling, 1997). 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 krimpscheuren en roodkleuring van de sedimenten.

Tijdens de afzetting van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep breidden riviersystemen zich episodisch vanuit het zuiden over het gehele kaartbladgebied uit met als gevolg dat de zanden (het Onder-Volprieausen Zandsteen, het Boven-Volprieausen Zandsteen en de het Onder-Detfurth Zandsteen Laagpakket) en fijnkorrelige lacustriene afzettingen (het Volprieausen Klei-Siltsteen, het Detfurth Kleisteen Laagpakket) elkaar afwisselden. Aan de basis van het Onder-Volprieausen Zandsteen en het Onder-Dethfurth Zandsteen Laagpakket zijn hiaten 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 het Volprieausen Klei-Siltsteen Laagpakket (Geluk et al., 1996; Geluk & Röhling, 1997).

De discordantie aan de basis van de Boven-Germaanse Trias Groep is prominent aanwezig in het kaartbladgebied. De groep bedekt in het grootste gedeelte van het kaartbladgebied de oudste afzettingen van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep, de Volprieausen Formatie, en in de Roerdal Slenk de jongste afzettingen, de Detfurth en Hardeggen Formatie (fig. 7.5). De Boven-Germaanse Trias Groep toont een afwisseling van continentale naar meer mariene afzettingsomstandigheden.

De Solling Formatie weerspiegelt in het grote bekken een transgressie van de zee vanuit oostelijke richting in het bekken. De zee bereikte het kaartbladgebied nog niet en de afzettingen zijn hier voornamelijk lacustrien. Bij aanvang van de afzetting van de Röt Formatie was ook het kaartbladgebied door de zee overspoeld. Afsluiting van de verbinding met de zee en indamping van het aanwezige water in het bekken leidde tot de afzetting van het zout en de anhydriet van het Hoofd- en Boven-Röt Evaporiet Laagpakket gevolgd door een pakket kleistenen. Tijdens de afzetting van het bovenste deel van de Röt Formatie zette de transgressie door en gingen er geleidelijk meer open mariene omstandigheden in het bekken heersen. Door deze transgressie werden de brongebieden van sediment in toenemende mate door de zee overspoeld en maakte de afzetting van klastische sedimenten plaats voor de afzetting van de door kalk gedomineerde opeenvolging van de Muschelkalk Formatie. De het Onder-Muschelkalk Laagpakket werd onder ondiep mariene tot stormtij omstandigheden afgezet, terwijl een opnieuw afsluiten van de verbinding tussen het Noordwest-Europese Bekken en de Tethys tot de afzetting van het Muschelkalk Evaporiet Laagpakket. Het Midden-Muschelkalk Mergel en het Boven-Muschelkalk Laagpakket werden vervolgens weer onder meer open mariene omstandigheden afgezet.

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 de eerste puls van de Vroeg-Kimmerische fase vertegenwoordigt en die een groot hiaat veroorzaakte in de opeenvolging door diepe erosie in de onderliggende afzettingen.



## 8 Altena Groep

### 8.1 Stratigrafie

De Altena Groep bestaat hoofdzakelijk uit donkergekleurde kleisteen met in het bovenste deel ook inschakelingen van zandsteen, kalksteen en mergel. In het kaartbladgebied worden vier van de vijf formaties van de Altena Groep aangetroffen (fig. 8.1) de Sleen, de Aalburg, de Posidonia Schalie en de Werkendam Formatie. De Brabant Formatie ontbreekt in het kaartbladgebied. De Altena Groep heeft een Rhaetien tot Aalenien/Bajocien ouderdom.

Binnen het kaartbladgebied rust de Altena Groep met een hiaat op de Boven-Germaanse Trias Groep. De afzettingen komen voor in het Centraal-Nederlands Bekken en in de Roerdal (Kaart 6; fig. 8.4). Differentiële bewegingen en hebben geresulteerd in sterk wisselende diktes, van enkele meters tot meer dan 1000 m in het Centraal-Nederlands Bekken (Kaart 7). De diepte van de basis van de groep bevindt zich tussen de 600 en 3000 m (Kaart 6). De afzettingen worden discordant bedekt door de Schieland en de Nedersaksen, de Rijnland, de Krijtkalk Groep of door de Noordzee Supergroep.

#### 8.1.1 Sleen Formatie

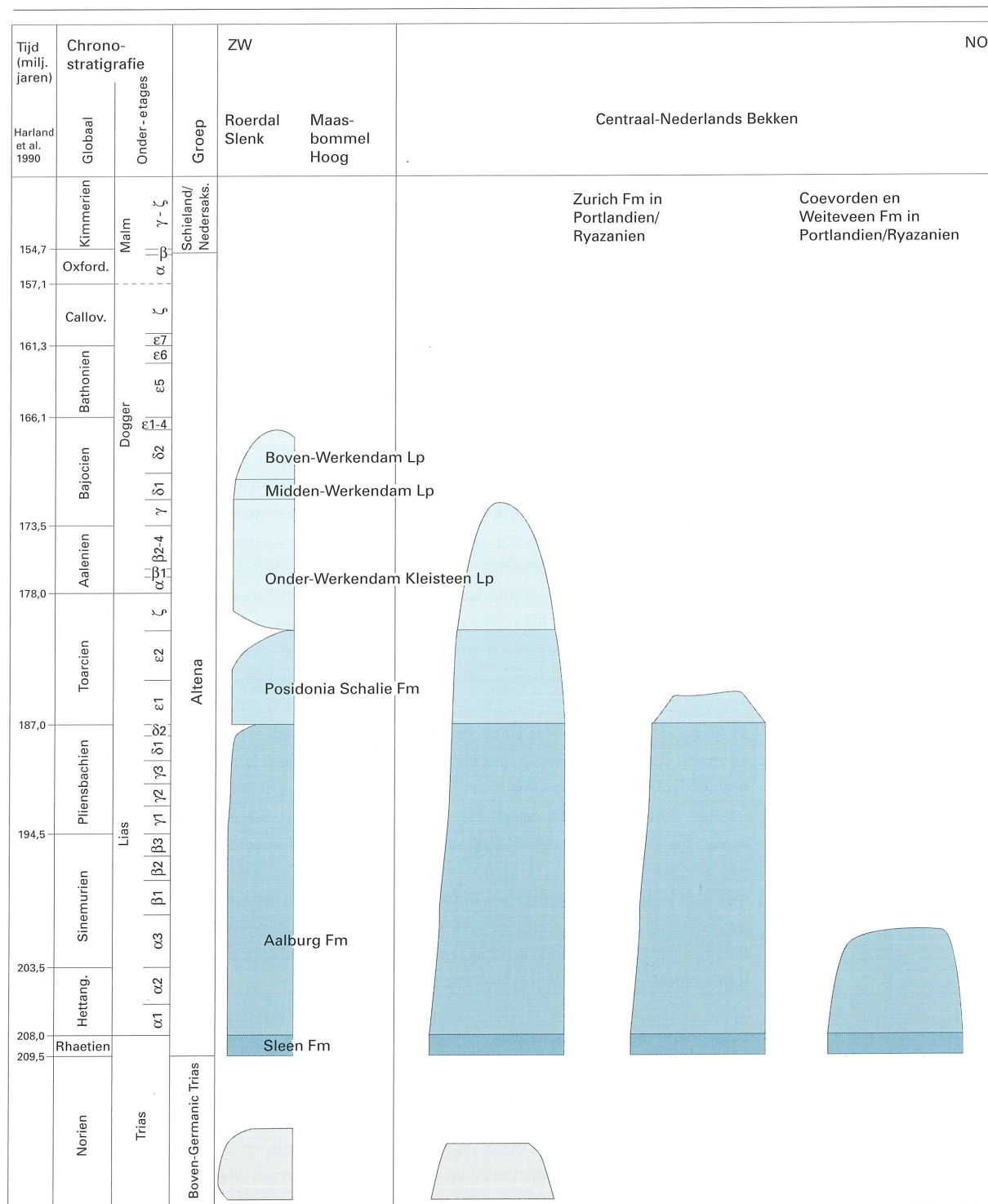
De Sleen Formatie bestaat uit donkergrijze tot zwarte, soms bitumineuze, kleisteen en schalie met plaatselijk veel pyriet. Een dun zandsteenpakket deelt de formatie in tweeën. Het bovenste deel van de formatie kan roodbruin van kleur zijn. De afzettingen komen voor binnen het gehele verbreidingsgebied van de Altena Groep. De formatie rust met een hiaat en in het oostelijk deel van het kaartblad discordant op de Boven-Germaanse Trias Groep (fig. 8.4) en wordt concordant bedekt door de Aalburg Formatie. De formatie heeft een dikte van bijna 30 m en een Rhaetien ouderdom.

#### 8.1.2 Aalburg Formatie

De Aalburg Formatie heeft lithologisch gezien een monotoon karakter en is opgebouwd uit groengrijze tot zwarte, soms kalkige kleisteen met dunne kalksteenbankjes (fig. 8.3). Tevens komen in het onderste deel van de formatie enkele niveaus van donkergekleurde organisch-rijke kleistenen voor (Herngreen & De Boer, 1974). Ammonieten, belemnieten en mollusken zijn talrijk. Ook pyriet, ijzeroïden en siderietknollen zijn frequent aanwezig. De dikte van de Aalburg Formatie wisselt sterk ten gevolge van differentiële breukwerking en erosie. De grootste dikte wordt bereikt in Centraal-Nederlands Bekken en bedraagt meer dan 1000 m. In de Roerdal Slenk komen diktes van meer dan 900 m voor. De formatie rust concordant op de Sleen Formatie en wordt concordant bedekt door de Posidonia Schalie Formatie of discordant door de Schieland, de Rijnland of de Krijtkalk Groep, of door de Noordzee Supergroep. De formatie heeft een Hettangien tot Pliensbachien ouderdom.

#### 8.1.3 Posidonia Schalie Formatie

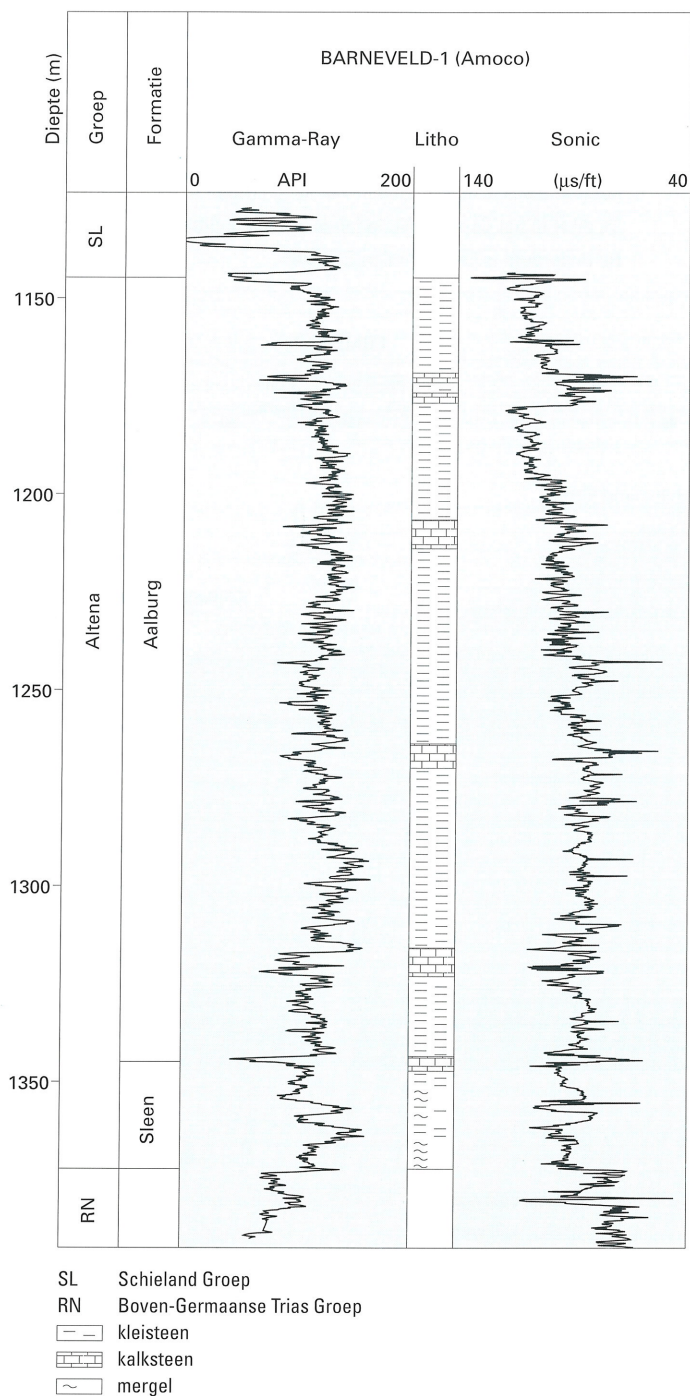
De Posidonia Schalie Formatie bestaat uit een donkere, organisch-rijke schalie met enkele kalkbanken. De formatie is in de putten binnen het kaartbladgebied niet aangetroffen, maar wel ten westen daarvan. Seismisch is de formatie in het kaartbladgebied in enkele slenken in het Centraal-Nederlands Bekken onderkend. Gezien de regionale kennis, opgedaan bij de kartering van de diepe ondergrond, wordt aangenomen dat de Posidonia Schalie Formatie zowel lokaal in het Centraal-Nederlands Bekken voorkomt, als in de Roerdal Slenk (fig. 8.4). De schalie is door de aanwezigheid van bitumen een belangrijk oliemoedergesteente in Nederland. De formatie rust concordant op de Aalburg Formatie en wordt binnen het kaartbladgebied discordant bedekt door de Schieland, de Rijnland en de Krijtkalk Groep, of door de Noordzee Supergroep. De formatie heeft een Toarcien ouderdom.



Figuur 8.1 Stratigrafisch overzicht van de Altana Groep.

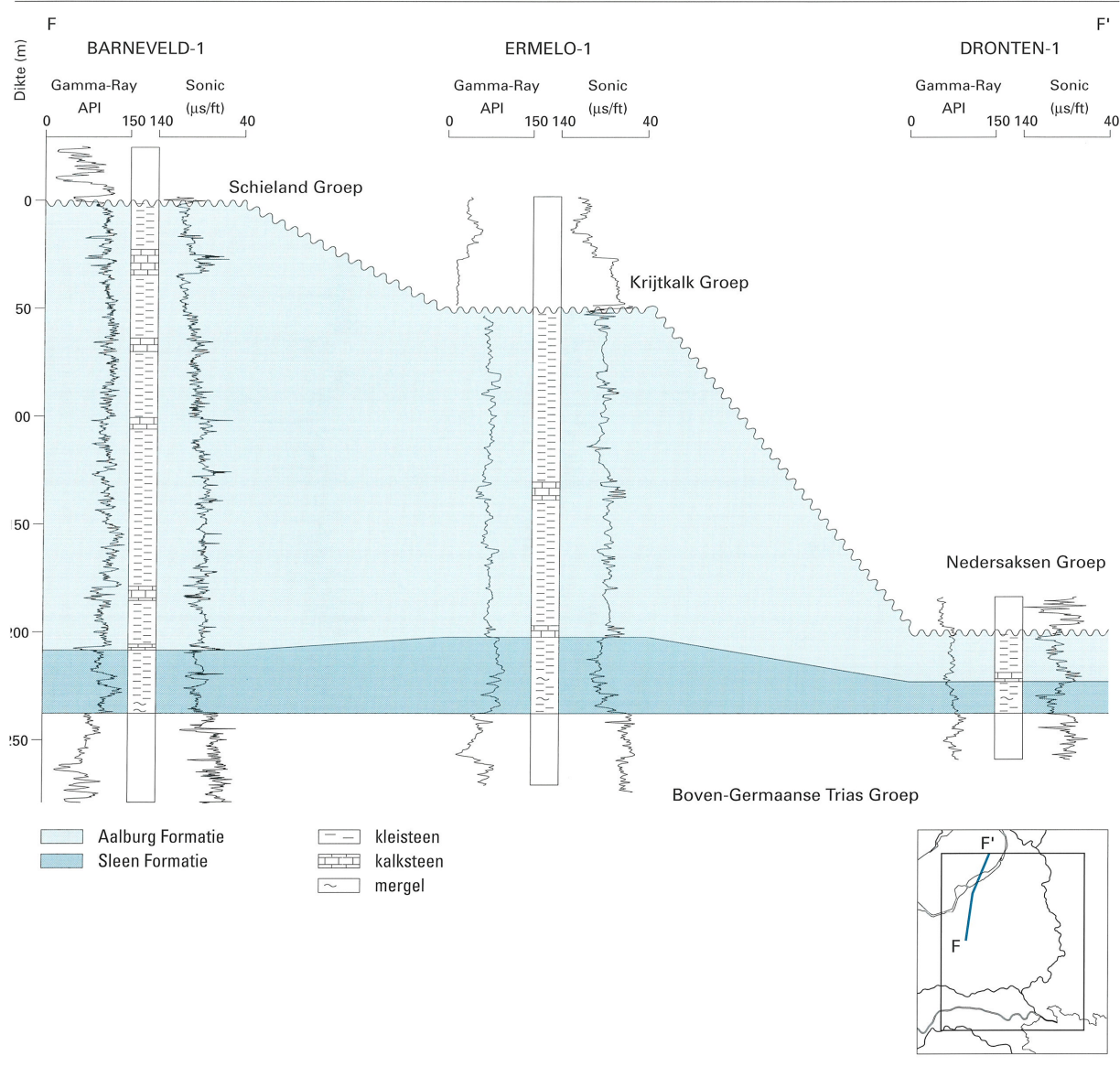


Figuur 8.2 Stratigrafische indeling en logkarakteristiek van de Altena Groep in de boring Barneveld-1.



#### 8.1.4 Werkendam Formatie

De Werkendam Formatie bestaat uit grijze, mergelige kleisteen met in het midden van de sectie een meer kalkig, siltig tot zandig interval. De formatie wordt onderverdeeld in drie laagpakketten: het Onder-Werkendam, Midden-Werkendam en Boven-Werkendam Laagpakket. De formatie is in het Centraal-Nederlands Bekken niet aangetroffen, maar is gezien de dikte van de Altena Groep wel aanwezig. In de Roerdal Slenk is de formatie in wel aangetroffen in boringen ten zuidwesten van het kaartbladgebied. De dikte in het Centraal-Nederlands Bekken bedraagt 300 à 400 m en in de Roerdal Slenk 200 m. De ouderdom is Laat-Toarcien-Bajocien.



Figuur 8.3 Stratigrafisch profiel F-F' van de Altena Groep tussen de boringen Barneveld-1, Ermelo-1 en Dronten-1. Het referentieniveau is basis Altena Groep.



Het *Onder-Werkendam Laagpakket*, bestaat overwegend uit donkergekleurde, soms siltige, kleisteen, met inschakelingen van licht gekleurde mergels en enkele ijzeroëliet-niveaus. Het laagpakket is duidelijk minder kalkig dan het overliggend Midden-Werkendam Laagpakket.

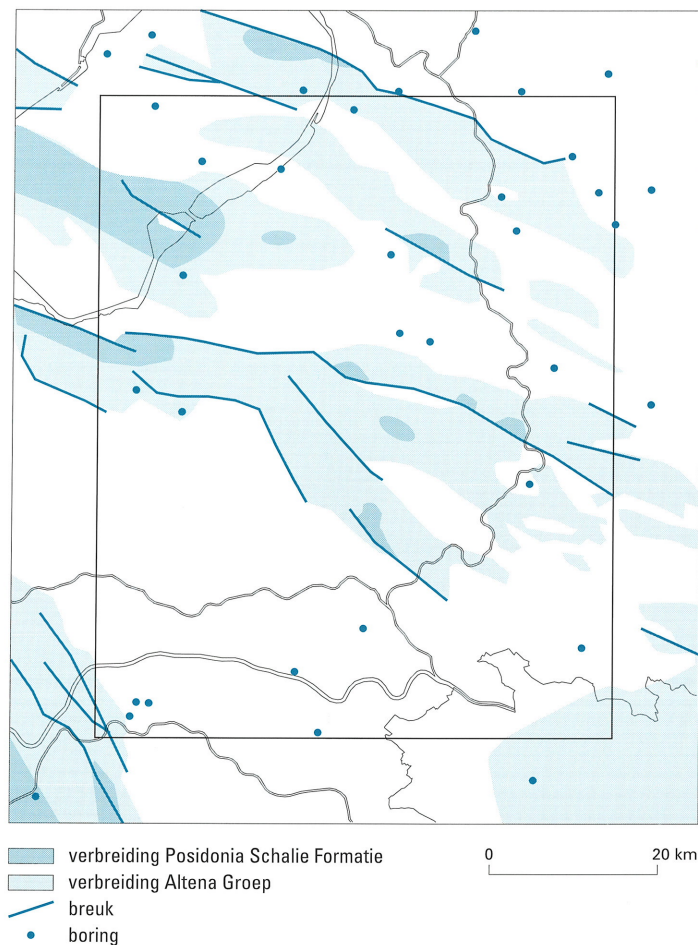
Het *Midden-Werkendam Laagpakket*, bestaand uit een afwisseling van kalkige silt- en zandstenen, heeft in vergelijking tot de onder- en bovenliggende laagpakketten duidelijk hogere sonic- en weerstandwaarden.

Het *Boven-Werkendam Laagpakket*, bestaand uit een homogene sectie van grijze, enigszins mergelige, kleistenen ligt met een conform contact op de kalkige sedimenten van het Midden-Werkendam Laagpakket.

## 8.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

Na een lange periode van continentale en ondiep mariene afzettingsomstandigheden, leidde een transgressie gedurende de Laat-Trias (Rhaetien) tot de vorming van een open-mariene gebied dat zich uitstrekte over grote delen van Noordwest-Europa. Dit markeert het begin van de afzetting van de Altena Groep.

Figuur 8.4 Verbreiding van de Altena Groep met het voorkomen van de Posidonia Schalie Formatie.



De sedimentatie van de Altena Groep in het kaartbladgebied ving aan met de transgressieve afzetting van de Sleen Formatie. Een korte regressieve periode na afzetting van deze formatie zorgde voor een lagunair karakter van de top. Hierna steeg de zeespiegel en werden de open-mariene sedimenten van de Aalburg Formatie afgezet. Deze afzetting vond vooral plaats onder de golfbasis, waarbij de aanwezigheid van organisch-rijke laagjes wijst op het voorkomen van periodieke anoxische omstandigheden in het bekken. Diktevariatie binnen de formatie weerspiegelt differentiële daling in het gebied.

De Posidonia Schalie Formatie is een pelagische afzetting met een bitumineus karakter, die onder anoxische condities is afgezet. Dit zou het gevolg kunnen zijn van stagnerende diep watercirculatie, met als waarschijnlijke oorzaak de combinatie van een diep bekken met een sterk verbreukte bekkenvloer en de afsluiting van de connectie met de oceaan. Hierdoor konden reducerende omstandigheden ontstaan.

De open-mariene omstandigheden werden hersteld tijdens de afzetting van de Werkendam en de Brabant Formatie. De laatstgenoemde formatie komt door Laat-Kimmerische erosie niet meer voor in het kaartbladgebied.

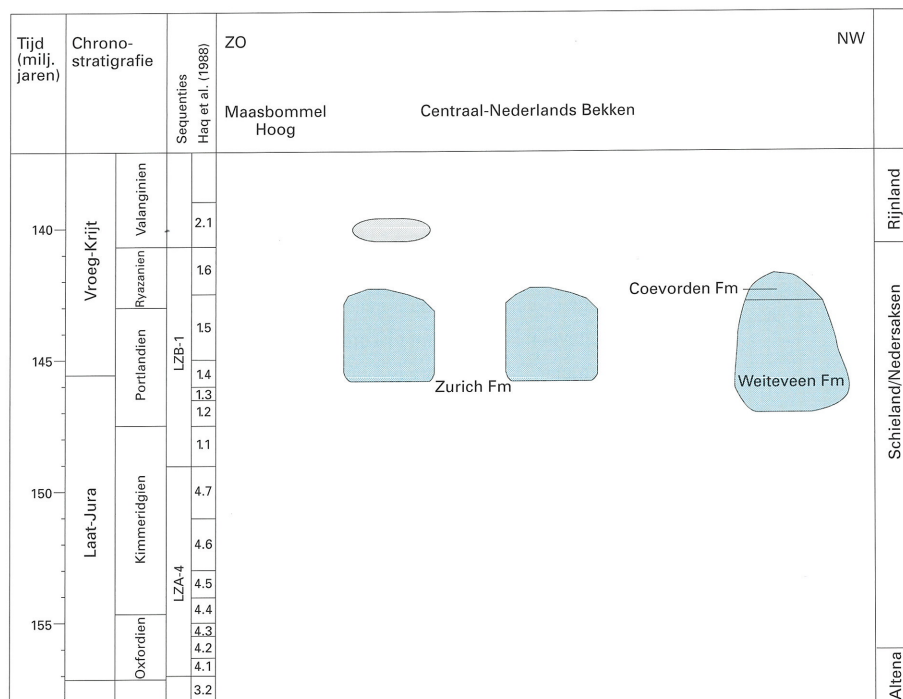
## 9 Schieland en Nedersaksen Groep

### 9.1 Algemeen

De Schieland Groep en de Nedersaksen Groep zijn afzettingen uit de Laat-Jura met een ouderdom van Laat-Portlandien tot Ryazanien. De Schieland Groep wordt vertegenwoordigd door de Zurich Formatie van de Delfland Subgroep, die hier in hoofdzaak bestaat uit een afwisseling van donker- tot bontgekleurde klei- en zandstenen en kalkhoudende zandstenen. De formatie komt voor in het Centraal-Nederlands Bekken (fig. 9.1). De Nedersaksen Groep komt slechts in het uiterste noorden van het kaartbladgebied voor en bestaat uit de Weiteveen en Coevorden Formatie en is opgebouwd uit donker- tot lichtgrijze kalkige kleistenen, dolomietlagen en mergelige kleistenen. De diepte van de basis van de Schieland en de Nedersaksen Groep ligt in het kaartbladgebied tussen 900 en 2100 m (Kaart 8). De dikte bedraagt maximaal 700 m (Kaart 9) en is door synsedimentaire breukbewegingen en latere erosie beïnvloed. De Schieland Groep ligt discordant op de Limburg, Boven-Germaanse Trias en Altena Groep en wordt concordant of met een klein hiaat bedekt door de Rijnland Groep in de Voorthuizen Trog of discordant door de Noordzee Supergroep.

De oorspronkelijke verbreiding van de Laat-Jura sedimenten omvatte zowel het Centraal-Nederlands Bekken als het oostelijker gelegen Nedersaksisch Bekken. Ten gevolge van de bekkeninversie en de daarmee gepaard gaande erosie aan het einde van het Krijt is het areaal van de afzettingen moeilijk te bepalen en worden de Laat-Jura afzettingen in het kaartbladgebied hier tot de Schieland Groep gerekend, met uitzondering van de afzettingen in het uiterste noorden van het kaartbladgebied waar de Nedersaksen Groep aanwezig is in een mariene tot lacustriene facies. In de boring Dronten-1 is sprake van een gemengde lithologie (fig. 9.3; RGD 1990 en Rijks Geologische Dienst, 1993b).

Figuur 9.1 Stratigrafisch overzicht van de Schieland en Nedersaksen Groep.





## **9.2 Schieland Groep**

### **9.2.1 Stratigrafie**

De Schieland Groep bestaat in het kaartbladgebied uit de Zurich Formatie van de Delfland Subgroep en komt voor in enkele slenken van het Centraal-Nederlands Bekken. De dikte bedraagt maximaal 700 m en de basis van de groep ligt op een diepte van 1100 tot 2100 m. De groep rust ligt disconcordant op de Limburg, de Boven-Germaanse Trias of de Altena Groep en wordt concordant of met een klein hiaat bedekt door de Rijnland Groep in de Voorthuizen Trog of door de Noordzee Supergroep. De ouderdom is Laat-Portlandien tot Ryazanien (*NITG-TNO, 1999; TNO-NITG 2002a*).

#### **9.2.1.1 Zurich Formatie**

De Zurich Formatie bestaat uit veelkleurige of grijze zandige tot siltige kleisteen met dunne ingeschakelde zandsteen, kalksteen- en koollagen. Het kleisteenpakket bevat ook pyriet, sideriet, zandsteen-, kalk- en koollaagjes. Op basis van de schaarse gegevens is er een onderscheid gemaakt in een kalkig pakket aan de basis, bedekt door een zandige en kleiige opeenvolging (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993-1997). Deze meest complete opeenvolging wordt in de Voorthuizen Trog (fig. 9.2) aangeboord, hoewel hier in het bovenste gedeelte van de afzetting geen koollagen voorkomen. De formatie heeft een Laat-Portlandien tot Ryazanien ouderdom (*NITG-TNO, 1999 & 2002a*).

## **9.3 Nedersaksen Groep**

### **9.3.1 Stratigrafie**

De Nedersaksen Groep bestaat uit de Weiteveen en de Coevorden Formatie en komt slechts in het uiterste noorden van het kaartblad voor. De groep ligt op een diepte van 900-1400 m en heeft een dikte van 400 m en ligt discordant op de Boven-Germaanse Trias of de Altena Groep en wordt bedekt door de Noordzee Supergroep. De ouderdom van de groep is Laat-Portlandien tot Ryazanien (*RGD, 1990*).

#### **9.3.1.1 Weiteveen Formatie**

De Weiteveen Formatie van de Nedersaksen Groep is opgebouwd uit kalkige kleistenen en vertandt in het uiterste noorden van het kaartblad met het kalkige pakket van de Zurich Formatie. De sedimenten bevatten zowel mariene als lacustriene elementen, zoals ostracoden. Ook worden er organischrijke niveau's aangetroffen. De dikte van de formatie bedraagt 285 m in boring Dronten-1, maar de dikte is mogelijk verdubbeld door een opschuiving op ongeveer 1325 m diepte (fig. 9.3; *RGD, 1990*). De Weiteveen Formatie ligt discordant op Altena Groep en wordt concordant bedekt door de Coevorden Formatie. De ouderdom is mogelijk Laat-Portlandien.

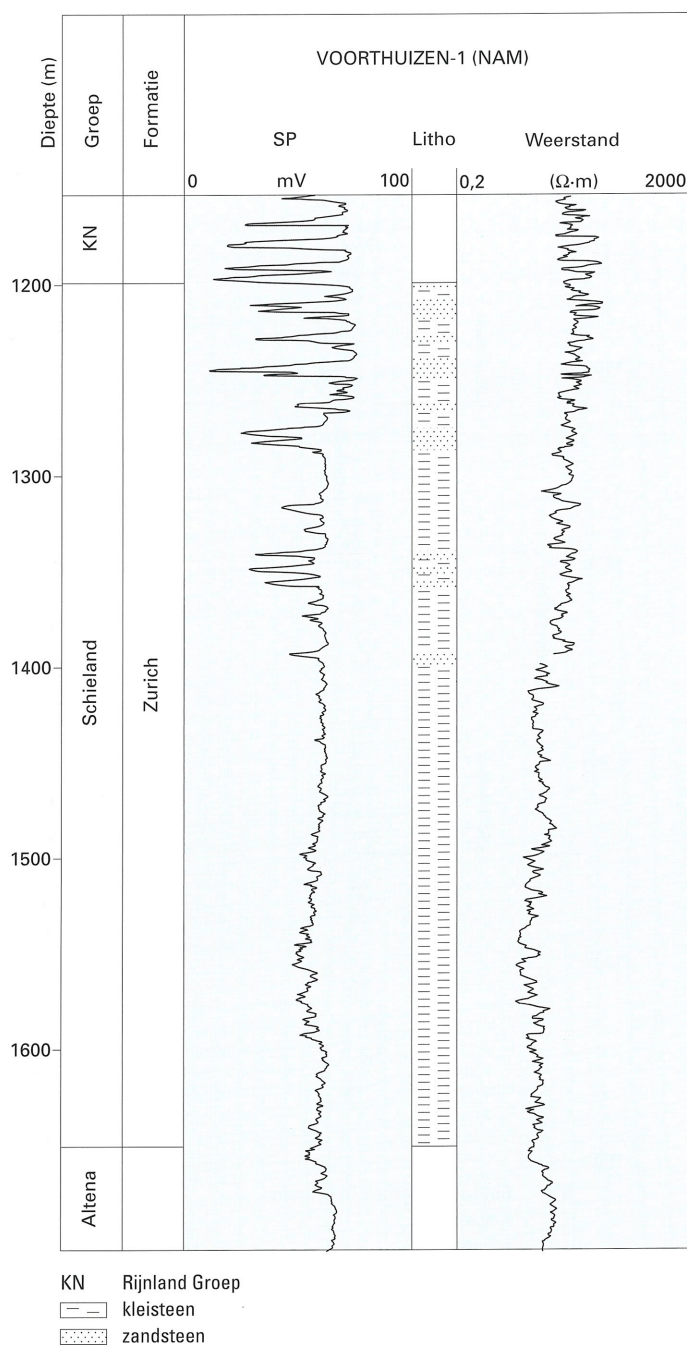
#### **9.3.1.2 Coevorden Formatie**

De Coevorden Formatie bestaat uit mergelige kleistenen, kalksteenbanken en koollaagjes, die afgezet zijn in zoet tot brak water. De formatie heeft een dikte van 140 m in boring Dronten-1 (fig. 9.3). De ouderdom is Vroeg-Ryazanien.

#### 9.4 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

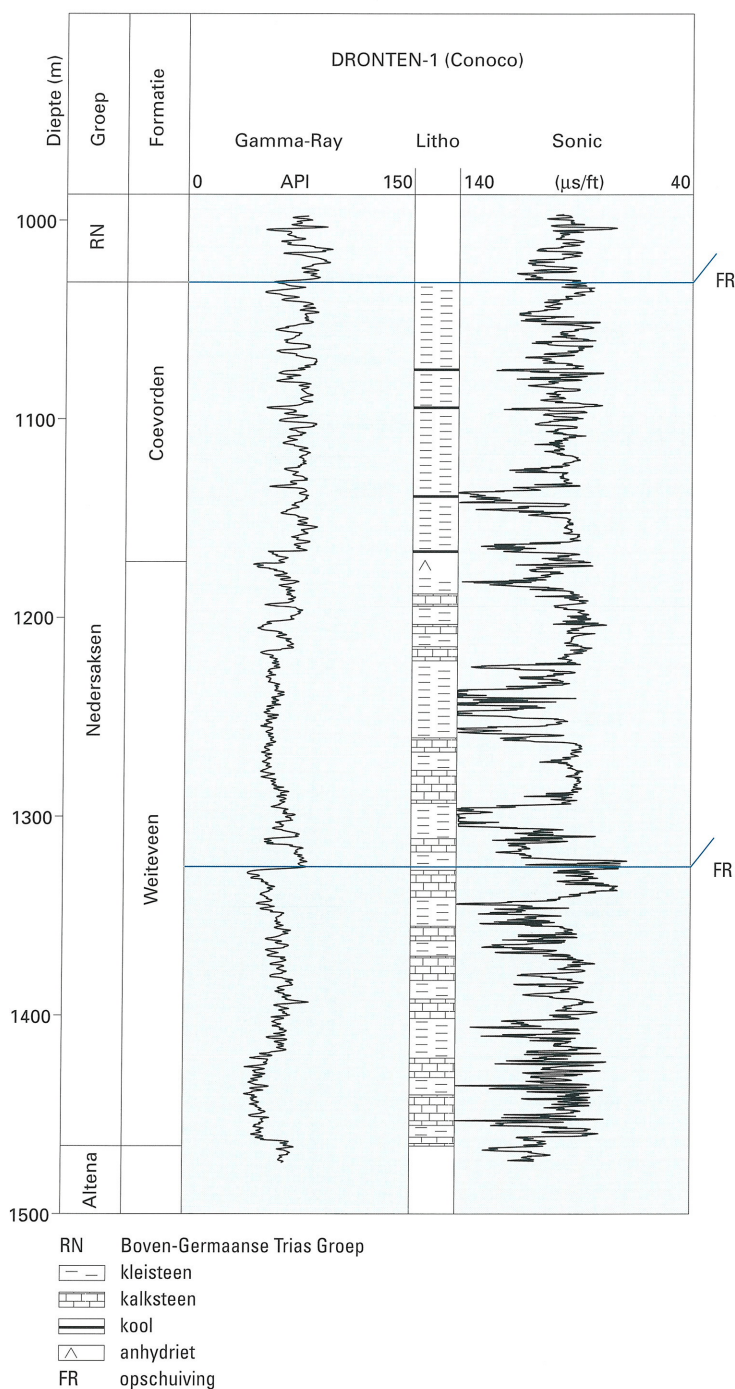
De sedimenten van de Zurich Formatie zijn gedurende de Laat-Jura afgezet in het sterk differentieel dalende Centraal-Nederlands Bekken. Er heerste een semi-aride klimaat dat geleidelijk aan vochtiger werd (TNO-NITG, 2002a; Hergreen et al., 2000). Het kleisteenpakket in de Zurich Formatie is een brakwaterafzetting, terwijl het hierboven gelegen zandpakket in zoet water is afgezet (RGD, 1990; NITG-TNO 1999). Deze sedimenten werden door rivieren aangevoerd, die in de lengteas van de dalende slenken stroomden. Hierbij vond sedimentatie van zand in geulen plaats, terwijl ook zand (in de vorm van crevasse splays) en klei en

Figuur 9.2 Stratigrafische indeling en logkarakteristiek van de Schielland Groep in de boring Voorthuizen-1.



lignieten werden afgezet in overstromingsgebieden. De Weiteveen Formatie in het uiterste noorden van het kaartblad is onder ondiep-mariene tot lacustriene omstandigheden afgezet in een baai of binnenmeer, die in verbinding stond met het Nedersaksisch Bekken ten noordoosten van het kaartbladgebied terwijl de Coevorden Formatie zowel lacustriene als fluviatiele elementen bevat. Het herkomstgebied van de zanden in het Centraal-Nederlands Bekken is vermoedelijk het Texel-IJsselmeer Hoog (Rijkers & Geluk, 1996), ten dele mogelijk ook het Maasbommel Hoog.

Figuur 9.3 Stratigrafische indeling en logkarakteristiek van de Nedersaksen Groep in de boring Dronten-1.





# 10 Rijnland Groep

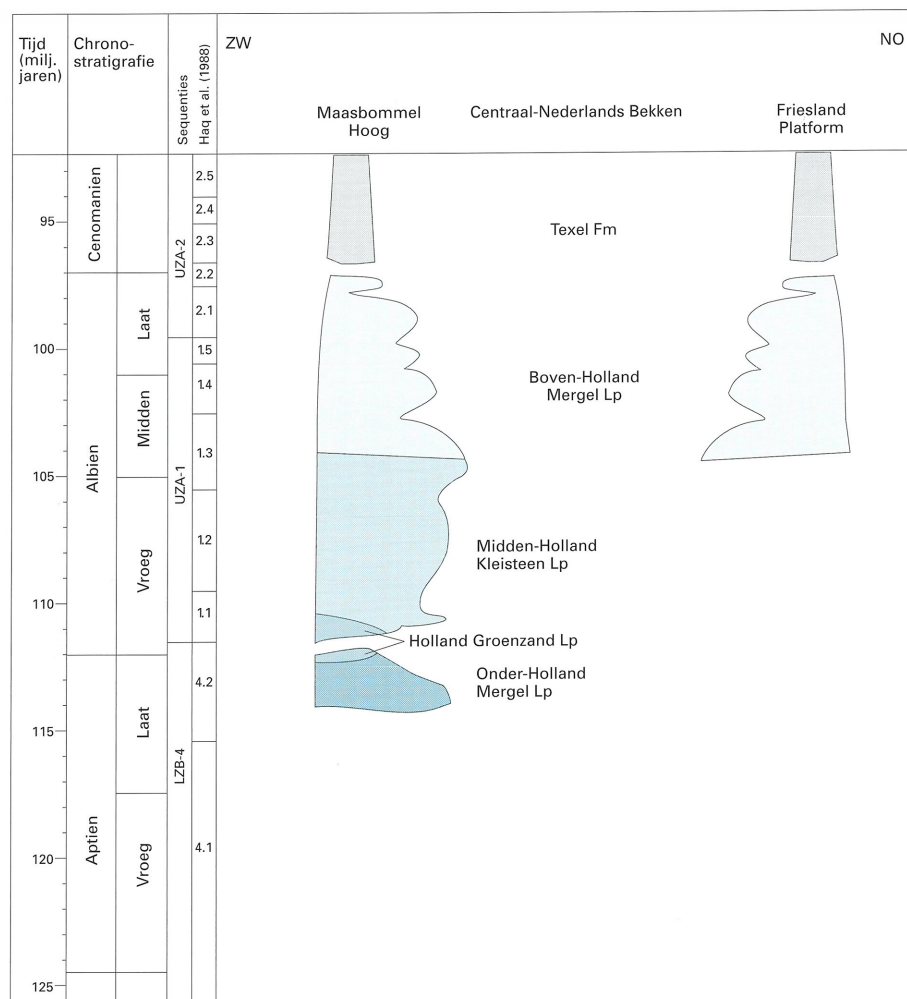
## 10.1 Stratigrafie

De Rijnland Groep bestaat uit glauconiethoudende zandstenen, siltstenen, kleistenen en mergels. De groep wordt onderverdeeld in de Vlieland Zandsteen, de Vlieland Kleisteen en de Holland Formatie. De twee eerstgenoemde formaties vormen samen de informele Vlieland subgroep. De ouderdom van de groep is Valanginien-Albien.

De Rijnland Groep is aanwezig in het noordoosten en het zuidwesten van het kaartbladgebied, evenals in de Voorthuizen Trog in het Centraal-Nederlands Bekken. De diepteligging van de groep varieert van 700 tot 2800 m (Kaart 10). De groep bereikt een maximale dikte van 400 m in zuidwesten van het kaartblad (Kaart 11).

Tijdens afzetting van de groep breidde het sedimentatiegebied zich vanuit de bekkens ten westen en noordoosten van het kaartbladgebied over de aangrenzende hogen uit, waardoor er in zuidwestelijke richting progressief jongere sedimenten de basis van de groep vormen. De groep wordt concordant bedekt door de Krijtkalk Groep, of discordant door de Noordzee Supergroep (Kaart 18) en ligt met een

Figuur 10.1 Stratigrafisch overzicht van de Rijnland Groep.

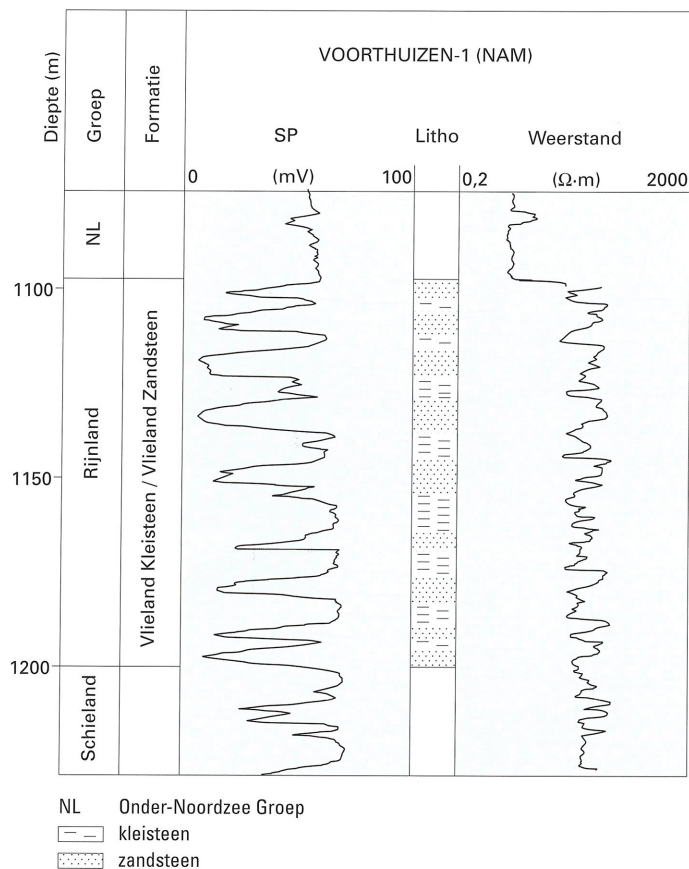


klein hiaat op de Schieland Groep, of discordant op de Limburg, Boven-Rotliegend, Zechstein, Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep of de Altena Groep.

### 10.1.1 Vlieland subgroep

De Vlieland subgroep is aanwezig in een beperkt deel van het kaartbladgebied: in de Voorthuizen Trog en aan de noordoost rand van het Maasbommel Hoog (fig. 10.4). De subgroep wordt concordant, of met een klein hiaat, bedekt door de Holland Formatie, of discordant door de Noordzee Supergroep in de Voorthuizen Trog. De subgroep is in het kaartbladgebied slechts in boring Voorthuizen-1 aangeboord (fig. 10.2) en bereikt hier een dikte van 100 m. De afwezigheid van de subgroep in het Centraal-Nederlands Bekken is het gevolg van bekkeninversie en erosie tijdens het Laat-Krijt en Vroeg-Tertiair. Binnen de subgroep worden ten westen van het kaartbladgebied de Vlieland Zandsteen en de Vlieland Kleisteen Formatie onderscheiden. In boring Voorthuizen-1 bestaat het Vroeg-Krijt traject uit een afwisseling van zand- en kleisteen en kan niet verder onderverdeeld worden. De zandstenen bestaan uit lichtgrijze, merendeels zeer fijnkorrelige, matig gesorteerde zanden. Palynologisch onderzoek heeft geen uitsluitsel gegeven over de precieze ouderdom van de afzettingen door een arme palynoflora in het kernmateriaal en bijzonder veel Tertiaire naal in de onderzochte cuttings (NITG-TNO, 1999). Net ten westen van het kaartblad in het West-Nederlands Bekken hebben afzettingen van de Vlieland subgroep een Valanginien-Barremien ouderdom (Rijks Geologische Dienst, 1993).

Figuur 10.2 Stratigrafische indeling en logkarakteristiek van de Vlieland subgroep in de boring Voorthuizen-1.

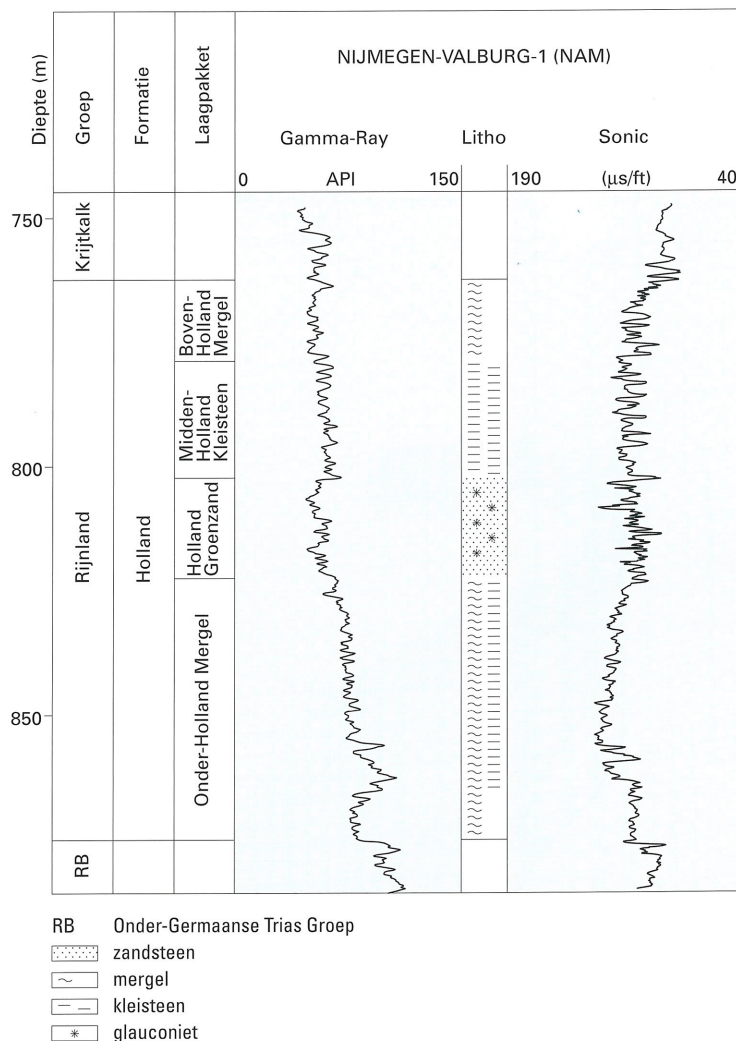


### 10.1.2 Holland Formatie

De Holland Formatie bestaat hoofdzakelijk uit grijze en roodbruine mergel en kleisteen. De formatie wordt onderverdeeld in het Onder-Holland Mergel, het Holland Groenzand, het Midden-Holland Kleisteen en het Boven-Holland Mergel Laagpakket (fig. 10.3). De Holland Formatie ligt concordant op de Vlieland subgroep of discordant op de Limburg, Boven-Rotliegend, Zechstein, Onder- en Boven-Germaanse Trias Groep of de Altena Groep en wordt concordant bedekt door de Krijtkalk Groep of discordant door de Noordzee Supergroep (Kaart 18). De formatie komt voor in het noordoosten en zuidwesten van het kaartbladgebied (fig. 10.4) en bereikt een dikte van ruim 300 m in het noordoosten en van ongeveer 400 m in het zuidwesten. De ouderdom is Aptien tot mogelijk Vroeg-Cenomanien.

Het *Onder-Holland Mergel Laagpakket* is opgebouwd uit een grijze, soms rood, bruin of gelig gekleurde mergelige kleisteen. Het laagpakket bereikt een dikte van ruim 60 m in het zuidwestelijk deel van het kaartbladgebied. De ouderdom is Aptien.

Figuur 10.3 Stratigrafische indeling en logkarakteristiek van de Holland Formatie in de boringen Nijmegen-Valburg-1.





Het *Holland Groenzand Laagpakket* is een afwisseling van donkere, siltige en zandige klei en glauconiet-houdende zanden (groenzanden) met kalkbanken. De eenheid rust op de Onder-Holland Mergel en wordt bedekt door de Midden-Holland Kleisteen. Het laagpakket komt alleen voor in het zuidwesten van het kaartbladgebied en heeft een dikte van circa 20 m. De ouderdom van het pakket is Laat-Aptien tot Vroeg-Albien.

Het *Midden-Holland Kleisteen Laagpakket* bestaat uit een grijze, mergelige klei. Het kleigehalte is hoger dan dat van de onder- en bovenliggende laagpakketten. De eenheid bereikt zowel in het noordoosten als in het zuidwesten van het kaartbladgebied een dikte van enkele tientallen meters. De ouderdom is Vroeg- tot Midden-Albien.

Het *Boven-Holland Mergel Laagpakket* is opgebouwd uit een lichtgrijze en lokaal bontgekleurde mergelige en siltige kleisteen. In het bovenste deel treden vaak ook lichtere kleuren op. Kenmerkend voor het pakket is de afname van het kleigehalte van de basis naar de top. Het laagpakket ligt op de Midden-Holland Kleisteen en wordt disconform bedekt door de Krijtkalk Groep of de Noordzee Supergroep. De dikte bedraagt maximaal 100 m in het noordoosten van het kaartbladgebied en op het voormalig Maasbommel Hoog. De ouderdom is Midden-Albien tot vermoedelijk vroegste Cenomanien.

Figuur 10.4 Verbreidingskaartje van de Vlieland subgroep en de Holland Formatie.



## 10.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

Een grootschalige transgressie luidde een lange periode van mariene sedimentatie in. De afzettingen van de Vlieland subgroep worden op dit kaartbladgebied vertegenwoordigd door ondiep-mariene sedimenten in de vorm van transgressieve en kustnabije afzettingen. Het Texel-IJsselmeer Hoog, het Maasbommel en het Dalfsen Hoog leverden sediment voor de afzettingen van de Vlieland subgroep.

Tijdens de afzetting van de Holland Formatie werden deze hogen steeds meer overspoeld door de zee en werden in de bekkens kleiige mergels en kleien afgezet (Onder-Holland Mergel en Midden-Holland Kleisteen Laagpakket), terwijl aan de rand van en op het voormalige Maasbommel Hoog, in een ondiep marien milieu, glauconitische zanden werden afgezet: het Holland Groenzand. Aan het begin van de afzetting van de Boven-Holland Mergel vond de Albien-transgressie plaats die een groot deel van West-Europa overspoelde (Crittenden, 1987). De hogen in en rondom het kaartbladgebied werden geheel door de zee bedekt, waardoor de aanvoer van klastisch materiaal werd beëindigd.

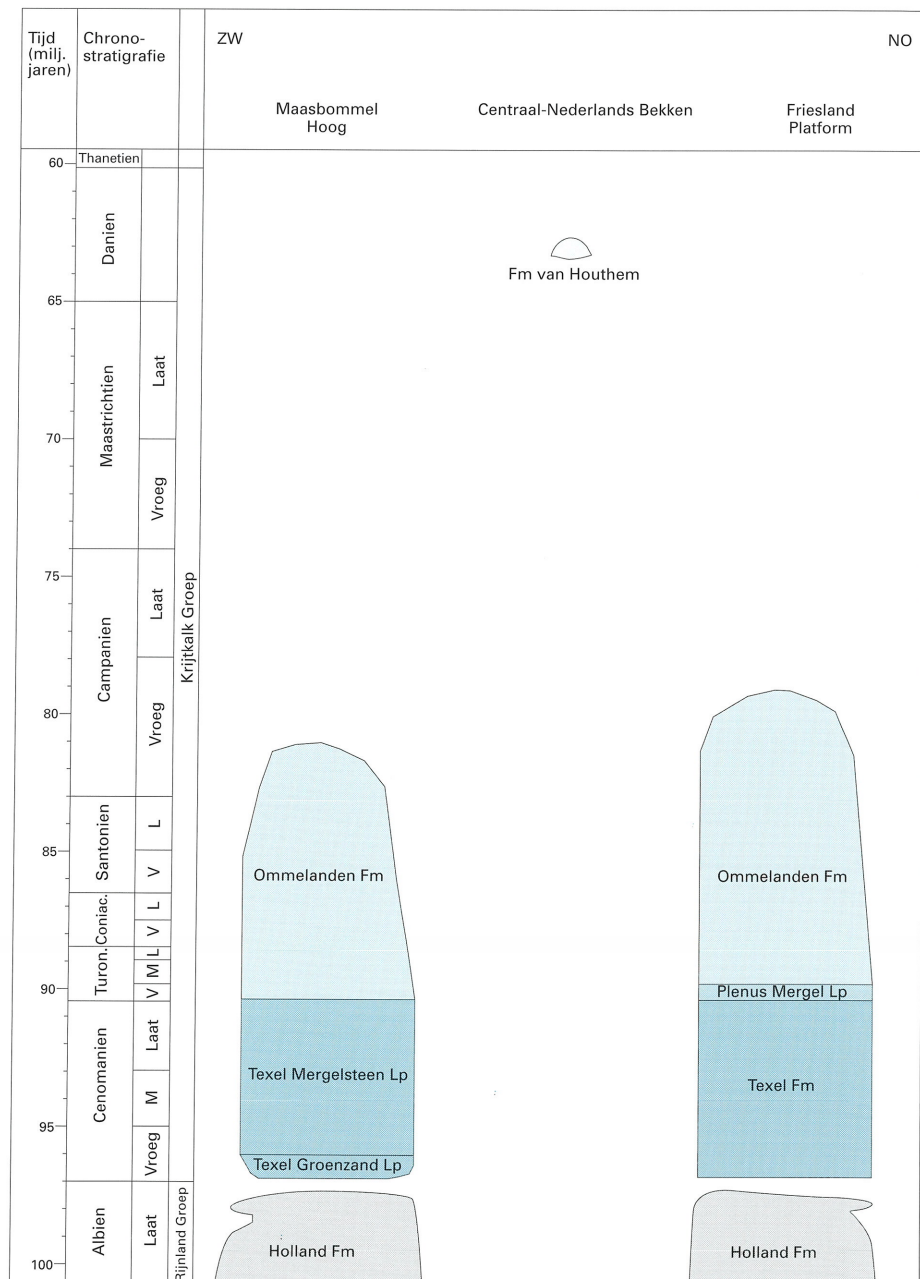
# 11 Krijtkalk Groep

## 11.1 Stratigrafie

De Krijtkalk Groep (fig. 11.1) 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 (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993-1997).

De afzettingen zijn aanwezig in het noordoosten en in het zuidwesten van het gebied. In het noordoostelijk deel varieert de diepteligging van de basis van de groep van 700 tot 1600 m. In het zuidwesten ligt

Figuur 11.1 Stratigrafisch overzicht van de Krijtkalk Groep.





de basis van de groep op maximaal 2500 m diepte. Ten gevolge van de inversie en erosie van het Centraal-Nederlands Bekken ontbreekt de Krijtkalk Groep in het grootste deel van het kaartbladgebied. De dikte van de groep bedraagt binnen het kaartbladgebied ruim 2000 m op het Maasbommel Hoog en in het noordoosten ruim 800 m (Kaart 13). De ouderdom is Cenomanien-Danien.

De Krijtkalk Groep wordt binnen het kaartbladgebied onderverdeeld in de Texel en de Ommelanden Formatie (fig. 11.2). De Formatie van Houthem komt lokaal voor in het Centraal-Nederlands Bekken (fig. 11.3 & 11.4) en ten zuidoosten van het kaartbladgebied in Duitsland (fig. 11.4), waar de formatie discordant op de Altena Groep rust (boring Emmerich-1; Elberskirch & Wolburg, 1962).

De groep rust concordant of met een hiaat op de Holland Formatie of discordant op de Boven-Germaanse Trias Groep of de Altena Groep. De Krijtkalk Groep wordt discordant bedekt door de klastische sedimenten van de Noordzee Supergroep. Daar waar de Formatie van Houthem voorkomt, ligt de Noordzee Supergroep met een hiaat op de Krijtkalk Groep. De opbouw van de groep wordt geïllustreerd aan de hand van de boringen Maasbommel-1 en Hessum-1 (fig. 11.2). De ouderdom van de groep binnen het kaartbladgebied is Cenomanien tot en met Campanien; in het centrum van het kaartbladgebied en in het zuidoosten worden krijtkalk sedimenten met Danien ouderdom aangetroffen.

#### 11.1.1 Texel Formatie

De Texel Formatie komt voor in het noordoosten en zuidwesten van het kaartbladgebied. In de formatie worden het Texel Groenzand, het Texel Mergelsteen en het Plenus Mergel Laagpakket onderscheiden. De dikte van de formatie bedraagt circa 80 m. De ouderdom is Cenomanien tot mogelijk vroegste Turonien.

Het *Texel Groenzand Laagpakket* bestaat uit glauconietrijke zanden en wordt alleen aangetroffen op het Maasbommel Hoog. De dikte bedraagt circa 12 m en de ouderdom is Cenomanien.

Het *Texel Mergelsteen Laagpakket* bestaat uit een afwisseling van witte mergels en kalksteenbanken in de onderste 10-20 m en kalksteenbanken daarboven. De ouderdom van de eenheid is Cenomanien.

Het *Plenus Mergel Laagpakket* bestaat uit een kalkhoudende, donkergekleurde gelamineerde kleisteen, met een zeer karakteristieke piek op de gamma-ray en sonic. De dikte van het laagpakket bedraagt in het algemeen 1 tot 2 m. De ouderdom van de Plenus Mergel is laatste Cenomanien tot mogelijk vroegste Turonien.

#### 11.1.2 Ommelanden Formatie

De Ommelanden Formatie komt voor in het noordoosten en zuidwesten van het kaartbladgebied. De formatie wordt niet onderverdeeld in laagpakketten, maar door logcorrelatie, ondersteund door dateringen, kunnen de verschillende Krijt-etages worden geïdentificeerd (fig. 11.2).

De formatie bestaat onderin uit massieve kalksteen van Turonien ouderdom, gevolgd door meer mergelige pakketten van Coniacien en Santonien ouderdom. Hierop ligt een meer kalkige opeenvolging van het Campanien, welke in het onderste deel uit kalkzandsteen bestaat en naar boven toe overgaat in massieve kalken. In deze kalken komen veelvuldig vuursteenconcreties voor. Op seismiek zijn in het noordoosten op het voormalig Dalfsen Hoog in de nabijheid van het Centraal-Nederlands Bekken binnen de Ommelanden Formatie discordanties te zien, die zich op grond van calibratie met boringen in de Santonien tot Vroeg-Campanien afzettingen bevinden (NITG-TNO, 1998).



### 11.1.3 Formatie van Houthem

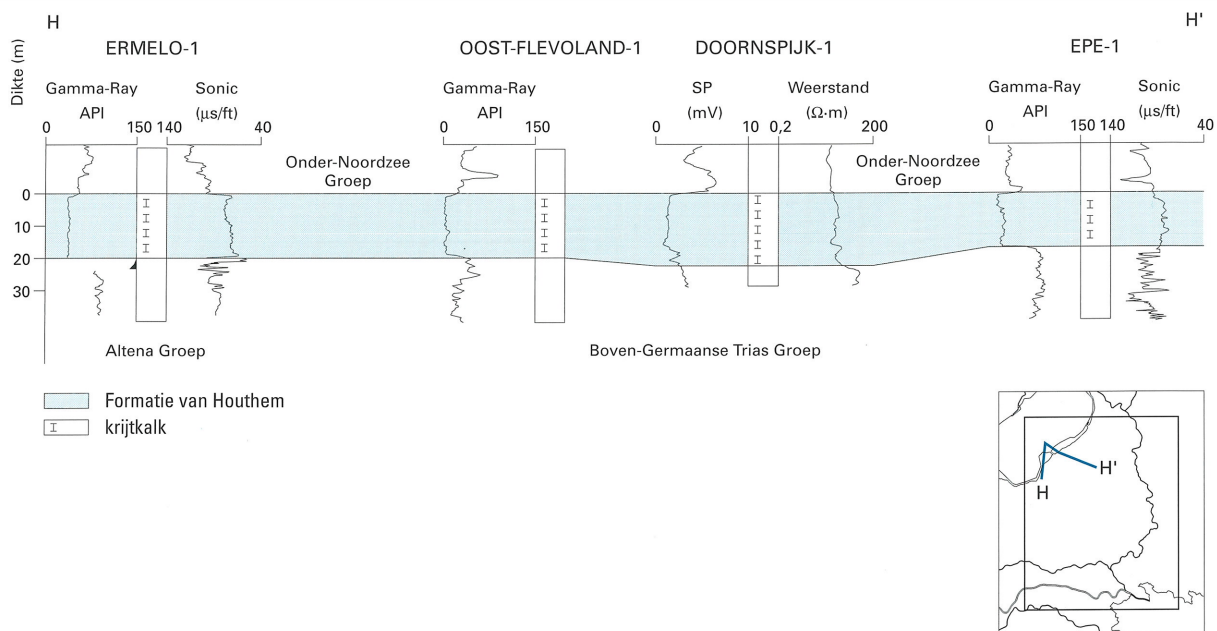
De Formatie van Houthem is niet seismisch gekarteerd vanwege de geringe dikte van het pakket. De diepte- en diktewaarden worden als puntgegevens getoond op Kaarten 12 & 13. De gegevens van de verbreiding van de afzetting in figuur 11.4 zijn gebaseerd op boringen (fig. 11.3; TNO-NITG, 2002b).

De formatie bestaat uit zachte, lichtgrijze tot lichtgeelgrijze, fijn- tot grofkorrelige kalkstenen. Er komen harde kalksteenknollen, hardgrounds en fossielgruislagen in voor. Het onderste gedeelte van de afzetting wordt gekenmerkt door het voorkomen van glauconiet. De formatie komt voor in het centrale deel en het zuidoosten van het kaartbladgebied en rust discordant op de Boven-Germaanse Trias Groep en in het zuidoosten op de Altena Groep. De formatie wordt met een hiaat bedekt door de Onder-Noordzee Groep. De maximale dikte bedraagt 25 m. De ouderdom is Danien.

## 11.2 Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie

De eustatische zeespiegelstijging tijdens de afzetting van de Rijnland Groep ontwikkelde zich tijdens afzetting van de Krijt-kalk Groep tot een mondiale transgressie. De kustlijn kwam daardoor steeds zuidelijker van het kaartbladgebied te liggen, hetgeen zich uit in een toename van het kalkgehalte in de Texel Formatie. De Plenus Mergel, aan de top van deze formatie, weerspiegelt een tijdspanne waarin wereldwijd in de bekkens anoxische omstandigheden heersten. De grote verbreiding van deze eenheid wijst op een zeespiegelmaximum.

De Ommelanden Formatie werd onder laag-energetische omstandigheden op een ondiep carbonaat platform afgezet. Ten noordoosten van het voormalig Maasbommel Hoog zijn echter kleige tot merge-lige afzettingen in het Santonien aangeboord, hetgeen wijst op een ondiepe zee rond dit hoog. Zeespiegelfluctuaties zorgden voor variaties in kalk- en kleigehalte. Tektonische bewegingen tijdens de



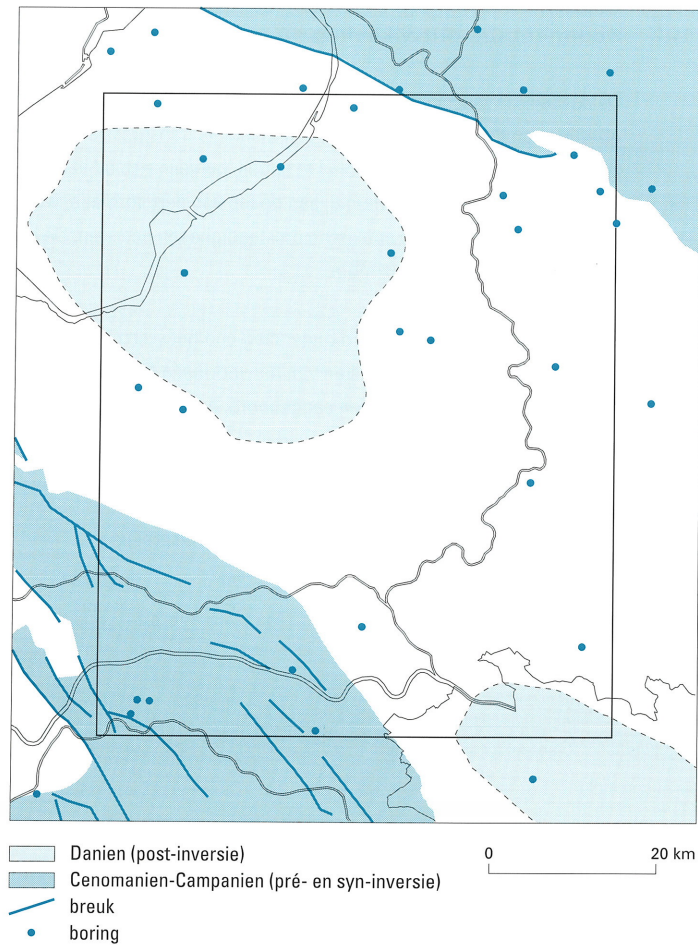
Figuur 11.3 Stratigrafisch profiel H-H' van de Formatie van Houthem tussen de boringen Ermelo-1, Oost-Flevoland-1, Doornspijk-1 en Epe-1-1. Het referentieniveau is Basis Onder-Noordzee Groep.



Subhercynische fase zijn grotendeels verantwoordelijk voor de huidige verbreiding en leidden tot een sterke daling van de voormalige hogen uit het Onder-Krijt.

Tijdens het Laat-Campanien tot Danien breidde het zeegebied zich geleidelijk weer over de geïnvverteerde bekkens uit, wat leidde tot de post-inversie afzettingen van de Ommelanden Formatie en de Formatie van Houthem. In het kaartbladgebied zijn geen afzettingen van Laat-Campanien tot Maastrichtien ouderdom aangetroffen in het voormalige Centraal-Nederlands Bekken, ook niet onder de Formatie van Houthem, hetgeen eerder duidt op non-depositie dan erosie. Elders in het kaartblad zijn de post-inversie afzettingen door de Laramische fase weggeërodeerd.

*Figuur 11.4* Verbreidingskaartje van de Krijt-kalk Groep met de verbreiding van de Formatie van Houthem.



## 12 Noordzee Supergroep

### 12.1 Stratigrafie

De Noordzee Supergroep wordt onderverdeeld in de Onder-, de Midden- en de Boven-Noordzee Groep en heeft een Laat-Paleocene tot Holocene ouderdom (fig. 12.1). De afzettingen bestaan vrijwel geheel uit mariene zanden en kleien. De drie groepen worden door discordanties van elkaar gescheiden, maar ook binnen de groepen komen discordanties voor. De Noordzee Supergroep ligt met een hiaat of discordant op de Krijtkalk Groep, of discordant op oudere lithostratigrafische eenheden, zoals de Rijnland, de Schieland en de Nedersaksen, de Altena en de Onder- en Boven-Germaanse Trias, de Zechstein, de Boven-Rotliegend en de Limburg Groep.

De drie groepen van de Noordzee Supergroep zijn in het gehele gebied aanwezig, maar de diepteligging varieert van 400 m in het zuiden van het kaartbladgebied tot meer dan 1500 m in het Zuiderzee Diep (Kaart 14).

De beschrijvingen in dit hoofdstuk zijn gebaseerd op interpretaties van logs (fig. 12.2 & 12.3) en seismiek, en op gegevens van Letsch & Sissingh (1983), Zagwijn (1989), Van Adrichem Boogaert & Kouwe (1993-1997) en de toelichtingen bij de kaartbladen (Rijks Geologische Dienst, 1977 & 1984) van de Geologische kaart van Nederland. Deze laatstgenoemde referenties geven vooral veel informatie over de jongste sedimenten.

#### 12.1.1 Onder-Noordzee Groep

De Onder-Noordzee Groep, bestaande uit de Formaties van Landen en Dongen, komt in het hele kaartbladgebied voor (fig. 12.4). De afzettingen liggen discordant op de Krijtkalk of op de Rijnland, de Altena, de Boven- en Onder-Germaanse Trias, de Zechstein en de Limburg Groep. De Onder-Noordzee Groep is afgezet gedurende het Laat-Paleoceen en het Eoceen.

##### 12.1.1.1 Formatie van Landen

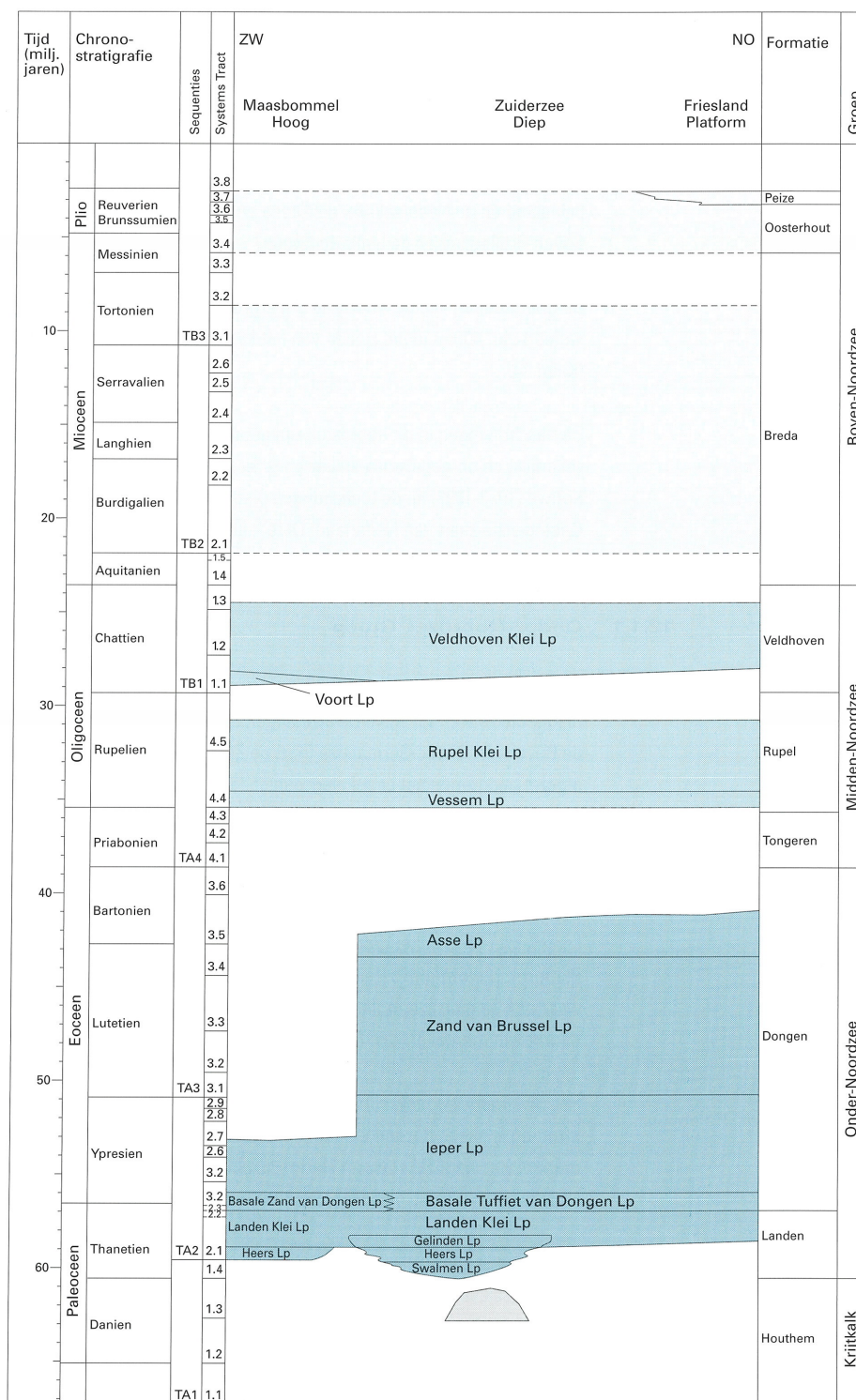
De Formatie van Landen is opgebouwd uit het Swalmen, het Heers, het Gelinden, het Landen Klei Laagpakket en is in het grootste gedeelte kaartbladgebied aanwezig, met uitzondering van het Friesland Platform. De formatie bereikt een dikte van ongeveer 70 m in het noordwesten, in het Zuiderzee Diep, waar ook de meest complete ontwikkeling aanwezig is met een kleipakket of zanden aan de basis met daarboven mergel en klei. De ouderdom is Laat-Paleoceen.

Het *Swalmen Laagpakket* bestaat uit een zandig en kleiig pakket met enkele bruinkoollaagjes. Deze afzetting is alleen bekend uit het noordwesten van het kaartbladgebied. De afzettingen zijn brak tot marien. Het laagpakket wordt slechts lokaal aangetroffen in depressies, waar ook de Formatie van Houthem bewaard is gebleven. De dikte bedraagt maximaal 10 m.

Het *Heers Laagpakket* is opgebouwd uit een fijnkorrelig, glauconiethoudend zand, dat als het transgressieve zand aan de basis van de formatie beschouwd kan worden. De dikte varieert van 10 tot 25 m en is alleen in het westelijk deel van het kaartbladgebied aanwezig.

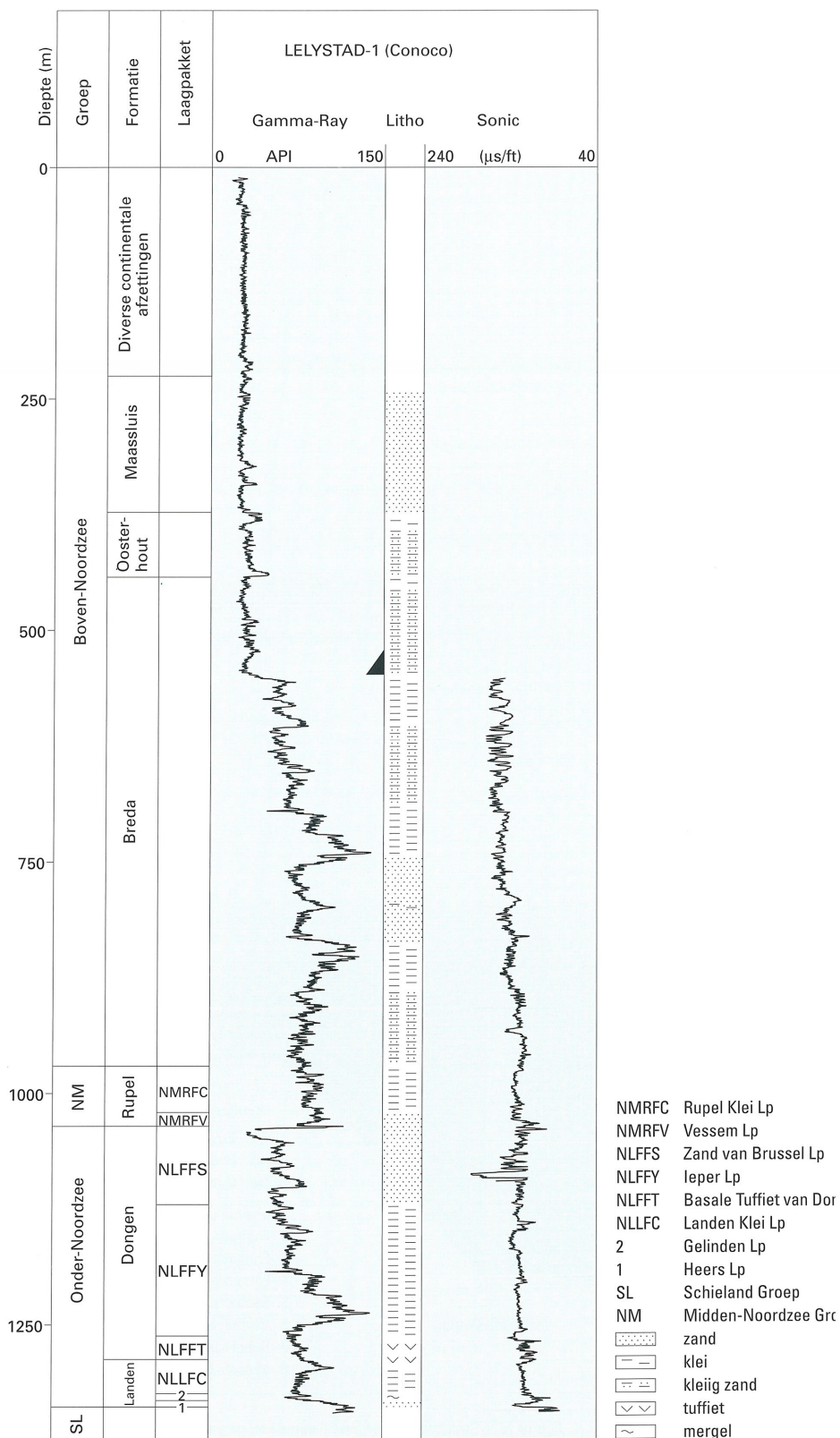
Het *Gelinden Laagpakket* bestaat uit grijs-witte tot geel-bruine, kleiige mergels met gele concreties. De basis bestaat meestal uit donkergroene, mergelige klei. Het laagpakket heeft een beperkte verbreiding in het zuidwesten van het kaartbladgebied en in het Zuiderzee Diep. De dikte varieert van 5 tot 25 m.

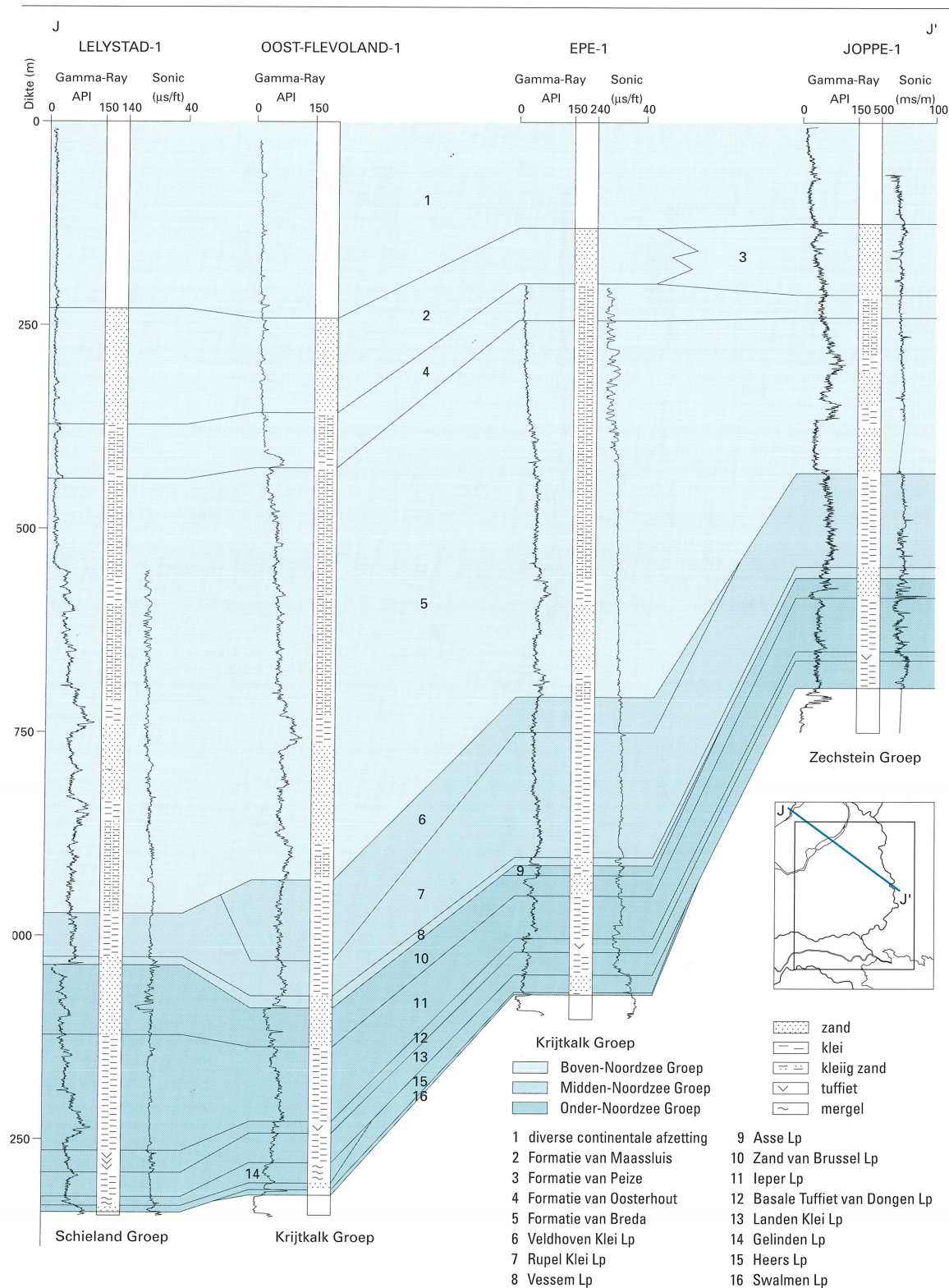
Figuur 12.1 Stratigrafisch overzicht van de Noordzee Supergroep. De sequentie indeling is naar Haq et al., 1988.





Figuur 12.2 Stratigrafische indeling en logkarakteristiek van de Noordzee Supergroep in de boring Lelystad-1.





Figuur 12.3 Stratigrafisch profiel I-I' van de Noordzee Supergroep tussen de boringen Lelystad-1, Oost-Flevoland-1, Epe-1 en Joppe-1.



Het *Landen Klei Laagpakket* bestaat uit een groene, siltige klei die, behalve op het Friesland Platform, in het gehele gebied voorkomt met een dikte van 15 tot 95 m.

#### **12.1.1.2 Formatie van Dongen**

De Formatie van Dongen is opgebouwd uit het Basale Zand of het Basale Tuffiet van Dongen, het leper, het Zand van Brussel en het Asse Laagpakket en komt in het hele gebied voor behalve aan de noordoost rand van het Maasbommel Hoog. De Formatie van Dongen ligt concordant op de Formatie van Landen en wordt discordant bedekt door de Midden-Noordzee Groep. De dikte van de formatie is sterk afhankelijk van tektonische bewegingen en erosie gedurende de Pyreneïsche en Savische fases. De dikte bedraagt ruim 250 m in het Zuiderzee Diep. De ouderdom van de formatie is Eoceen.

Het *Basale Zand van Dongen Laagpakket* bestaat uit fijnkorrelig soms glauconiethoudend zand en is slechts aanwezig in de Roerdal Slenk. De dikte is maximaal 13 m. De ouderdom is Vroeg-Eoceen.

Het *Basale Tuffiet van Dongen Laagpakket* is opgebouwd uit een afwisseling van bruine klei met laagjes vulkanische as. Het pakket komt in de noordelijke helft van het kaartbladgebied voor met een dikte van 5 tot 40 m. De ouderdom is Vroeg-Eoceen.

Het *leper Laagpakket* is opgebouwd uit bruingrijze en roodbruine klei aan de basis en uit zandige klei aan de top en kan lokaal pyriet, schelpen, verkoalde plantenresten en benthonische foraminiferen bevatten. De veelal vette kleien bevatten zandige en siltige niveaus. Het bovenste deel van de eenheid bevat groengrijze, glauconiethoudende en mergelige zandinschakelingen. Het laagpakket kan een dikte van ruim 100 m bereiken en komt in het grootste deel van het kaartblad voor. In het zuiden is het door erosie in dikte gereduceerd of geheel afwezig. De ouderdom is een Vroeg-Eoceen.

Het *Zand van Brussel Laagpakket*, bestaat uit fijnkorrelige, glauconiethoudende en kalkige zanden die in het Zuiderzee Diep een dikte van ongeveer 80 m kunnen bereiken. De ouderdom is Midden-Eoceen.

Het *Asse Laagpakket* is een zeer plastische en groengrijze tot blauwgrijze, kalkhoudende klei. De eenheid kan een dikte van 50 m bereiken, komt slechts in de noordelijke helft van het kaartblad voor en heeft een Laat-Eocene ouderdom.

#### **12.1.2 Midden-Noordzee Groep**

De Midden-Noordzee Groep bestaat uit de Rupel Formatie en de Formatie van Veldhoven. Beide formaties zijn opgebouwd uit fijnkorrelige zanden en kleien. De groep ligt discordant op de Onder-Noordzee Groep en wordt, eveneens discordant, bedekt door de Boven-Noordzee Groep. De grootste dikte is in de omgeving van Apeldoorn aangeboord en bedraagt ongeveer 300 m (fig. 12.5). De ouderdom is Oligoceen.

##### **12.1.2.1 Rupel Formatie**

De Rupel Formatie is opgebouwd uit het Vessem en het Rupel Klei Laagpakket en komt in het gehele kaartbladgebied voor en kan een dikte van ongeveer 190 m bereiken. De ouderdom van de formatie is Vroeg-Oligoceen.



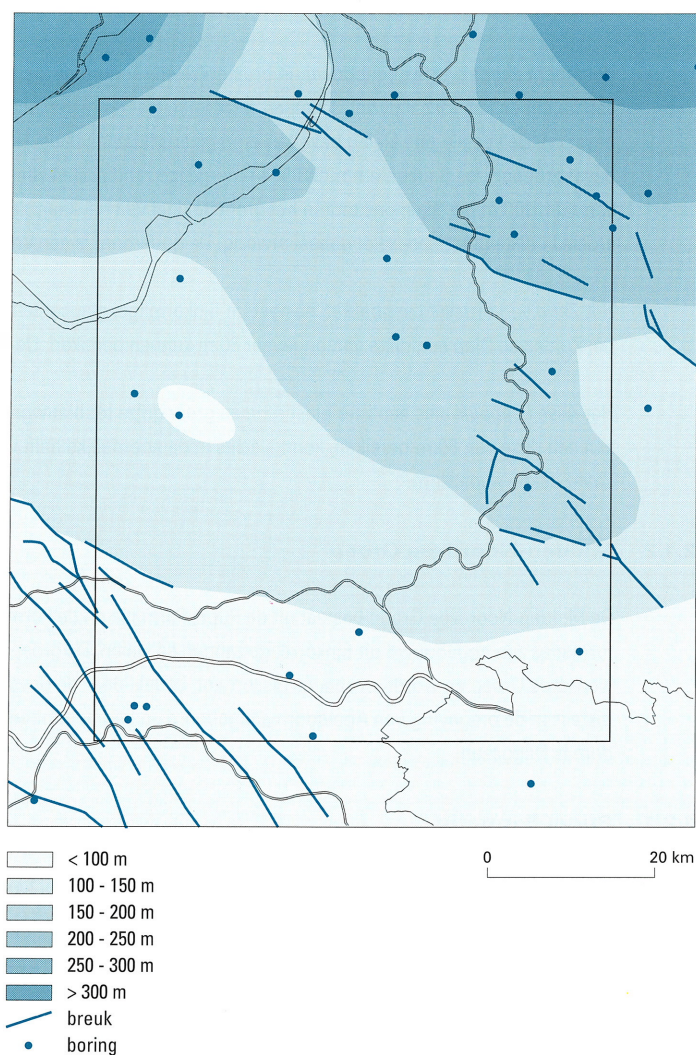
Het *Vessem Laagpakket* bestaat uit fijnkorrelige, glauconiethoudende zanden, die als de transgressieve basis van de formatie beschouwd kunnen worden. Deze zanden vertonen diverse, naar boventoe vergroevende, cycli. De dikte van het laagpakket is beperkt en varieert van enkele meters tot 30 m.

Het bovenliggende *Rupel Klei Laagpakket* bestaat uit een afwisseling van siltige en kleiige lagen. Plaatselijk is dit laagpakket rijk aan pyriet. Dit laagpakket heeft een maximale dikte van 180 m.

#### 12.1.2.2 Formatie van Veldhoven

De Formatie van Veldhoven is opgebouwd uit het Voort en het Veldhoven Laagpakket. Behalve in het noordoosten van het kaartbladgebied komt de formatie overal voor. De dikte van de formatie is het grootst in het zuiden van het kaartblad, waar diktes van 150 m worden bereikt; in het Zuiderzee Diep heeft de formatie een dikte van 120 m. De ouderdom is Laat-Oligoceen.

Figuur 12.4 Diktekaart Onder-Noordzee Groep gebaseerd op boringen.



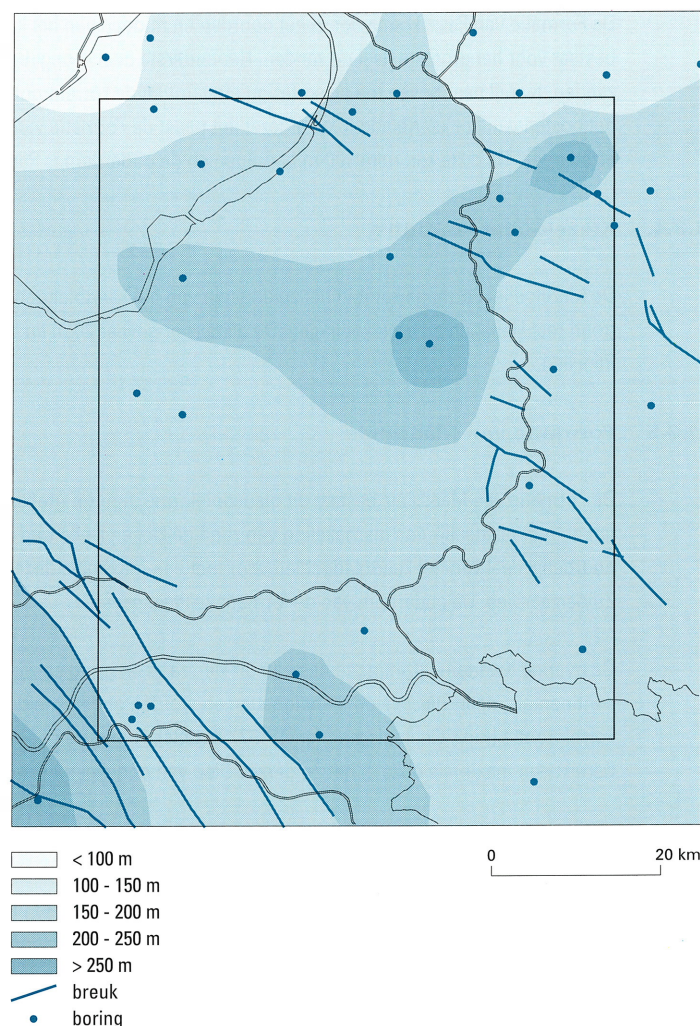
Het *Voort Laagpakket* toont een opeenvolging van naar boven vergroevende zandige eenheden. Het is slechts lokaal aanwezig, met name in de zuidelijke helft van het kaartbladgebied en bereikt daar een dikte van meer dan 70 m. Naar het noorden toe wordt deze eenheid veel dunner of is geheel afwezig.

Het *Veldhoven Klei Laagpakket* bestaat overwegend uit groengrijze siltige kleien en bereikt zijn grootste dikte van meer dan 140 m in het zuiden van het kaartbladgebied. In het Zuiderzee Diep zijn diktes tot 120 m aangeboord.

### 12.1.3 Boven-Noordzee Groep

De Boven-Noordzee Groep is in het kaartbladgebied opgebouwd uit de Formaties van Breda, Oosterhout, Peize, de Kiezeloöliet Formatie, de Formatie van Maassluis en overige Kwartaire afzettingen. De groep rust discordant op de Midden-Noordzee Groep, de Onder-Noordzee Groep of oudere afzettingen. De diepteligging van de basis van de groep, alsmede de dikte van de groep, variëren sterk. In het Zuiderzee Diep bedraagt deze meer dan 1000 m; in het oosten en zuiden van het kaartbladgebied komen diktes van 300 m voor (Kaart 15). De groep heeft een Miocene tot Kwartaire ouderdom.

Figuur 12.5 Diktekaart Midden-Noordzee Groep gebaseerd op boringen.





#### **12.1.3.1    Formatie van Breda**

De Formatie van Breda is in het gehele kaartblad gebied afgezet en bestaat uit glauconietrijke zandige kleien, kleien en zanden. De zandige kleien aan de basis van de formatie hebben een relatief hoge gamma-ray log uitslag (fig. 12.02 & 12.03). Naar de top wordt het glauconietgehalte minder en neemt het zandgehalte toe. In het Zuiderzee Diep heeft de formatie een dikte van 600 m en in het noordoostelijk deel van het kaartbladgebied een dikte van minder dan 100 m. De dikteverschillen zijn toe te schrijven aan differentiële bekkendaling in het Zuiderzee Diep. De ouderdom van de formatie is Mioceen.

#### **12.1.3.2    Formatie van Oosterhout**

De Formatie van Oosterhout is een overwegend zandige glauconietrijke formatie, die in het zuidoosten van het kaartbladgebied niet is afgezet. In het noordoosten gaat de formatie lateraal over in de continentale afzettingen van de Formatie van Peize. In het Zuiderzee Diep komen diktes voor van 300 m. De ouderdom van de formatie is Laat-Mioceen tot Pliocene.

#### **12.1.3.3    Formatie van Peize**

De Formatie van Peize komt voor in het noorden en midden van het kaartbladgebied. De formatie bestaat voor het grootste deel uit zanden. Het onderste deel is opgebouwd uit goed-gesorteerde fijne zanden, terwijl naar boven toe de sortering afneemt en de korrelgrootte grover wordt. De formatie is in het oosten van het kaartbladgebied afgezet ligt naast de Formatie van Oosterhout en jongere mariene afzettingen. De dikte kan ruim 100 m bedragen en de ouderdom is Pliocene tot Vroeg-Pleistoceen.

#### **12.1.3.4.    Kiezeloöliet Formatie**

De Kiezeloöliet Formatie komt in het zuidoosten van het kaartbladgebied voor en bestaat uit zanden en grind met kleilagen en bruinkoollagen. De dikte is ongeveer 20 m en de ouderdom is Laat-Mioceen en Pliocene.

#### **12.1.3.5    Formatie van Maassluis**

De Formatie van Maassluis bestaat uit glauconietarme, fijn- tot grofkorrelige zanden met schelpfragmenten en met plaatselijk een inschakeling van zandige klei en kleilagen en komt alleen in het westelijk en noordelijk deel van het kaartbladgebied voor met een maximale dikte van meer dan 300 m in het Zuiderzee Diep. De ouderdom van de formatie is Pleistoceen.

De overige Kwartaire afzettingen bestaan uit klei, zand en grind en zijn afgezet onder overwegend continentale, deels glaciale omstandigheden en worden onderscheiden op hun mineraalinhoud en korrelgrootte (Rijks Geologische Dienst, 1977 & 1984). Hun dikte neemt in noordwestelijke richting toe en bereikt een maximale dikte in het Zuiderzee Diep van ongeveer 250 m.

### **12.2    Sedimentaire ontwikkeling en paleogeografie**

Tijdens de afzetting van de Noordzee Supergroep lag het kaartbladgebied in het zuidelijke deel van het Noordzee Bekken. De sedimentatie werd vanwege deze ligging in hoge mate bepaald door tektonische bewegingen en eustatische zeespiegelschommelingen. Met name de snelle daling van de Roerdal Slenk en het Zuiderzee Diep hebben een belangrijke rol gespeeld in het kaartbladgebied.



Na de Laramische fase brak een periode aan waarin voornamelijk klastische sedimenten in mariene omstandigheden werden afgezet. De transgressie na de Laramische fase zorgde voor afzetting van de sedimenten van de Formatie van Landen tijdens het Laat-Paleoceen. Door de voortgaande transgressie werden hierna eveneens mariene zanden, kleien en mergels van de Formatie van Dongen afgezet. Aan het einde van het Eoceen vond, gedurende de Pyreneïsche tektonische fase, erosie plaats waardoor de afzettingen van het Eoceen rond en op het Maasbommel Hoog ontbreken. In de rest van het kaartbladgebied zijn deze afzettingen voor erosie gespaard gebleven.

De afzettingen van de Rupel Formatie weerspiegelen de hervatting van de sedimentatie in het Vroeg-Oligoceen in het kaartbladgebied. Aanvankelijk waren de omstandigheden ondiep-marien, later vol-marien. Er zijn geen aanwijzingen voor differentiële daling van het gebied en het uniforme karakter van de Rupel Klei wijst op afzetting in een uitgestrekt marien bekken. Tijdens het Laat-Oligoceen vond depositie plaats van de Formatie van Veldhoven in een ondiep-marien milieu.

Tijdens de Oligoceen-Mioceen overgang trad wederom regionale opheffing op gedurende de Savische fase. Tezamen met een lage zeespiegelstand resulteerde dit in regionale erosie tijdens het Vroeg-Mioceen, die in het centrale deel en in het oosten van het kaartbladgebied de Laat-Oligocene sedimenten heeft getrunceerd. In het Zuiderzee Diep treffen we de sedimenten van de Formatie van Breda aan, die herkenbaar deel uitmaken van een zeer groot sedimentlichaam dat door rivieren werd gevoed en zich naar het westen toe uitbouwde. De progradatie ging door tot in het Pliocene ten noorden van het kaartbladgebied en tot in het Pleistoceen in de noordelijke offshore (Bijlsma, 1981; Zagwijn, 1989).

Met de voortgaande progradatie tijdens het Pliocene verschoof de kustlijn in westelijke richting. In het oostelijk deel van het kaartbladgebied werden continentale, fluviatiele sedimenten van de Formatie van Peize afgezet, die vertanden met de mariene afzettingen van de Formatie van Oosterhout en jongere mariene afzettingen, en in het zuidoosten de Kiezeloöliet Formatie, waarvan de afzettingen afkomstig zijn van het Rijns Massief en werden aangevoerd door voorlopers van de Rijn en de Maas. In het Kwartair tijdens de afzetting van de Formatie van Maassluis overheersten nog mariene omstandigheden in het westelijk deel van het kaartbladgebied, maar de latere Kwartaire afzettingen zijn overwegend continentaal.

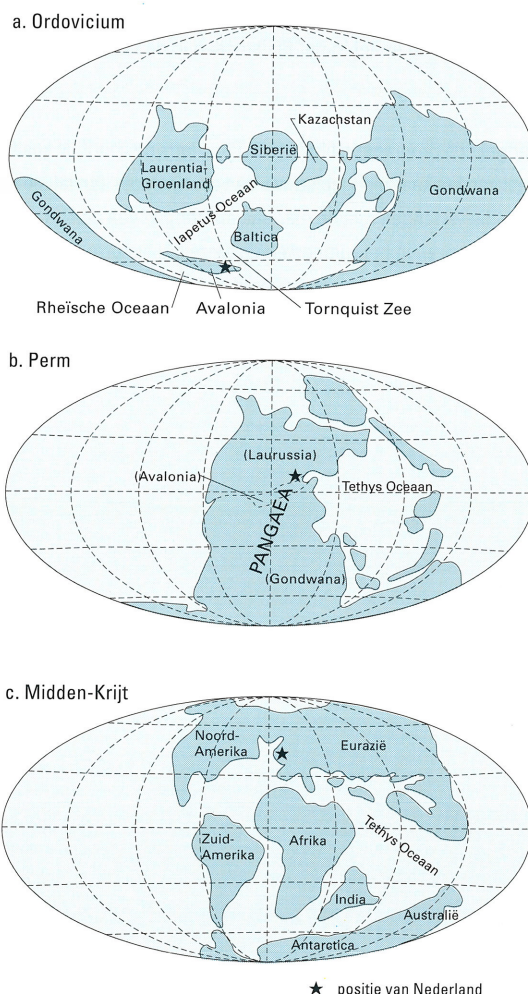
# 13 Geologische geschiedenis

## 13.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de geologische geschiedenis van het kaartbladgebied, vanaf het Carboon tot het Kwartair. Voor details van het Kwartair van het kaartbladgebied wordt verwezen naar de publicatie van Zagwijn (1989), de Toelichtingen bij de Geologische kaart van Nederland 1:50.000, bladen Arnhem 40 Oost en Tiel 39 Oost en West (Rijks Geologische Dienst, resp. 1977 en 1984). Wel wordt in dit hoofdstuk dieper ingegaan op de relatie tussen de oude breuksystemen, neotektoniek en Pleistocene glaciële landschapsvormen.

De geologische geschiedenis wordt per periode beschreven aan de hand van verschillende tektonische fasen die in het kaartbladgebied en omgeving actief zijn geweest (fig. 1.4). In het Laat-Carboon voltrok zich de Varistische Orogenese, waarbij het Varistisch gebergte ten zuidoosten van het kaartbladgebied werd gevormd (Lorenz & Nicholls, 1976; Ziegler, 1990). In deze tektonische fase werd in grote lijnen het structurele raamwerk aangelegd. Tijdens de Laat-Trias tot vroegste Krijt vonden de Kimmerische tektonische fasen plaats. Dit zijn extensiefasen die gerelateerd zijn aan de desintegratie van Pangea (fig. 13.1) en zijn verantwoordelijk voor het ontstaan van belangrijke structurele eenheden in het Mesozoïcum zoals het Centraal-Nederlands Bekken. De Subhercynische fase gedurende het Laat-Krijt werd veroorzaakt door een compressief krachtenveld, waardoor een kortstondige ommekeer (inversie)

*Figuur 13.1* Ligging van de continenten en oceanen gedurende het Ordovicium, Perm en Midden-Krijt (naar Scotese, 1991; Scotese & McKerrow, 1990). Bij de middelste figuur zijn de elementen waaruit Pangea is opgebouwd tussen haakjes vermeld.



plaatsvond van de bewegingsrichting van belangrijke breuksystemen en structurele elementen. De tektonische fasen gedurende het Tertiair (Laramische, Pyreneïsche en Savische fasen) zijn gerelateerd aan stadia in de opening van de Atlantische Oceaan en de Alpiene Orogenese. Naast de tektoniek bepaalden klimaatswisselingen en de daaraan gerelateerde zeespiegelfluctuaties (Haq et al., 1987) de geologische ontwikkeling van het gebied.

De locatie van het kaartbladgebied in het regionale kader is weergegeven in figuur 13.2. De belangrijkste structurele elementen die in dit hoofdstuk worden besproken staan weergegeven in figuur 3.1. De structurele ontwikkeling van het gebied wordt geïllustreerd door een ZZW-NNO seismisch profiel (fig. 13.5).

### **13.2 Bekkenontwikkeling, sedimentatie en tektoniek**

#### **13.2.1 Carboon**

Tijdens het Vroeg-Carboon zette de bekkendaling, die al aanving in het Devoon, zich voort. Een stijging van de zeespiegel leidde ertoe dat de influx van klastisch materiaal sterk werd teruggedrongen. Er ontstond ten noorden van het bekken een zeer uitgestrekt carbonaatplatform, dat vermoedelijk het grootste deel van het kaartbladgebied omvatte. Een korte fase van rektektoniek, de Bretonse fase, resulteerde tijdens het Vroeg-Carboon in differentiële bodembewegingen, waardoor in dit uitgestrekte carbonaatplatform op diverse plaatsen dalingsgebieden ontstonden (Ziegler, 1990).

De geschiedenis van het Laat-Carboon en vroegste Perm werd bepaald door de Varistische Orogenese. De vorming van de Varistische gebergtegordel ten zuiden en ten oosten van het huidige Nederland heeft een duidelijke invloed op de geologische geschiedenis van het kaartbladgebied gehad. De Varistische Orogenese markeert de sluiting van de Proto-Tethys en de vorming van het supercontinent Pangea (fig. 13.1; Ziegler, 1990). In de orogenese worden drie deformatie-fasen onderkend: de Sudetische, Asturische en Saalische. Het deformatiefront verplaatste zich tijdens deze fasen steeds verder noordwaarts.

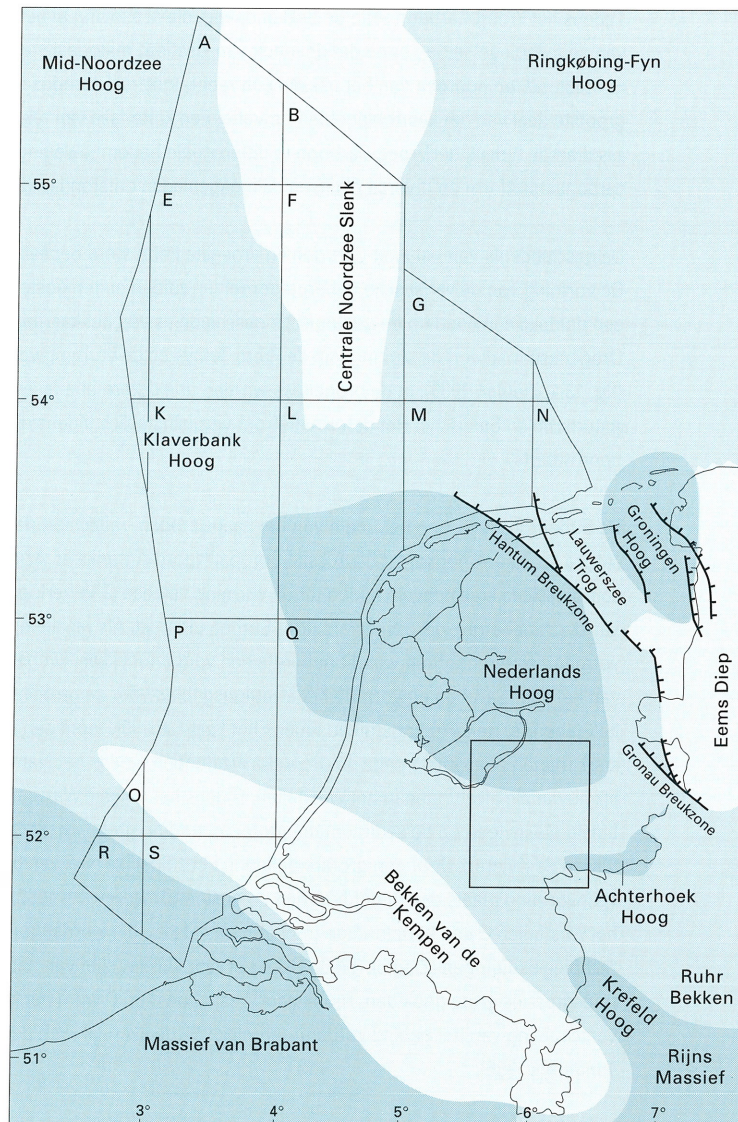
De Sudetische fase, aan het begin van het Laat-Carboon, reflecteert de botsing tussen Gondwana (Afrika en Zuid-Amerika) en Laurussia (Europa, Noord-Amerika en Azië), zie fig. 13.1b. Het N-Z gerichte compressieve krachtenveld leidde tot de vorming van een O-W verlopende gebergtegordel, het Varistisch gebergte, die zich dwars door Europa uitstrekt. Als reactie op deze isostatische belasting vormde zich ten noorden van dit gebergte een voorlandbekken. Dit bekken daalde sterk vanaf het begin van het Laat-Carboon en vormde het afzettingsgebied voor de grote hoeveelheid afbraakprodukten 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 fluviale afzettingen in het Westfalen. Tijdens het jongste Westfalen A en het Westfalen B werd de fluviale invloed op de sedimentatie groter en trad op grote schaal veenvorming op in moerassen tussen de rivieren. Door een grotere daling in het zuidelijke deel van het kaartbladgebied vond hier meer veenvorming plaats dan in het noorden en oosten (Drozdewski, 1992, 1993). Episodisch vonden tot in het Westfalen C nog kortstondige transgressies plaats, die worden toegeschreven aan glacio-eustatische zeespiegelstijgingen (Ziegler, 1990). Door het zeer vlakke reliëf van het bekken besloegen de transgressies grote gebieden. Tijdens het Westfalen 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).



Tijdens de Asturische en de Saalische deformatiefasen verplaatste het Varistische front zich in noordelijke richting (Lorentz & Nicholls, 1976); hierdoor werden de afzettingen in het voorlandbekken sterk geplooid en langs zwak hellende overschuivingsvlakken noordwaarts verplaatst. De noordelijke begrenzing van deze zone van intense deformatie bevindt zich ten zuidoosten van het kaartbladgebied (Geluk, 1997; NITG-TNO, 1998). Tijdens het Westfalen C werd de invloed van deze plooiingsfase merkbaar in het kaartbladgebied; in het zuidelijke en noordelijke deel van dit gebied vond opheffing plaats (Bless et al., 1977; Van Tongeren, 1996). De sedimentatie concentreeerde zich vanaf het Vroeg-Westfalen C in toenemende mate in het centrale gedeelte van het kaartbladgebied. Aangenomen wordt dat in ieder geval tijdens het Westfalen D ook sedimentatie plaatsvond buiten het centrale deel van het kaartbladgebied. Tijdens de Saalische fase zijn deze afzettingen hier geërodeerd.

De Saalische deformatiefase tijdens het Stefanien en het vroegste Perm is de laatste fase van de Varistische Orogenese. Het NNW-ZZO gerichte compressieve krachtenveld werd tijdens deze fase

*Figuur 13.2* Overzichtskaat van de voornaamste structurele elementen in Nederland tijdens het Laat-Carboon. De positie van het kaartbladgebied is met een kader weergegeven.



gevolgd door O-W georiënteerde rek. Ten noorden van het Varistische gebergte ontstonden NW-ZO georiënteerde, voornamelijk dextrale, transversale breuksystemen. In het kaartbladgebied leidden transtensionele bewegingen tot opheffing, scheefstelling en erosie. De geologische kaart van het Carboon oppervlak (fig. 4.4) laat zien dat de erosie in het zuiden en het noorden van het kaartbladgebied het diepst heeft ingesneden, tot in het Westfalen A.

### 13.2.2 Perm

Aan het eind van de Saalische tektonische fase in het Vroeg-Perm was een uitgestrekte landmassa ontstaan. Sterke zijschuivings-deformatie van dit gebied ging gepaard met vulkanisme op uitgebreide schaal in bijvoorbeeld Oost-Nederland en Duitsland, en leidde tot sterke deformatie van andere gebieden (Ziegler, 1990). 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.

Het kaartbladgebied bevond zich gedurende het grootste gedeelte van het Perm aan de zuidrand van het bekken. In deze lange periode vond sterke erosie plaats van de Carboon afzettingen, die geresulteerd heeft in het huidige geologische beeld (fig. 4.4). Tijdens de Asturische en Saalische fase tezamen werd zowel in het zuiden als in het noorden van het kaartbladgebied minstens 1500 m van de Limburg Groep geërodeerd.

Pas tijdens het Laat-Perm ging het kaartbladgebied deel uitmaken van het Zuidelijk Perm Bekken (fig. 6.6). Er werden onder aride klimaatsomstandigheden eolische en fluviatiele zanden en conglomeraten afgezet van de Boven-Rotliegend Groep. Dit vond het eerst plaats in het westen en breidde zich geleidelijk uit naar het oosten (Kaart 1). Het Varistisch front vormde min of meer de zuidelijke begrenzing van het sedimentatiegebied. In het noordwesten van het kaartbladgebied werden naast conglomeraten ook eolische zanden afgezet (Slochteren Zandsteen). Doordat de afgezette hoeveelheid sediment in het Zuidelijk Perm Bekken achterbleef bij de daling van het gebied, kwam dit bekken onder het toenmalige zeeniveau te liggen (Glennie, 1986).

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. In het bekken, dat onder het toenmalige zeeniveau was gedaald, vond een zeer snelle transgressie plaats (Glennie, 1983, 1986). 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 bases van de verschillende cycli.

Transtensionele bewegingen, onder invloed van een O-W extensie, tijdens de afzetting van de Z1 (Werra) Formatie resulteerden in een sterke, zuidwaartse uitbreiding van het sedimentatiegebied. Het zo ontstane dalingsgebied vormde een subbekken van het Zuidelijk Perm Bekken dat het gehele kaartbladgebied besloeg. Het dalingsgebied was opgebouwd uit een aaneenschakeling van relatief kleine pull-apart structuren, slenken en halfgrabens waarin o.a. Z1 zout werd afgezet (Kaart 3, fig. 6.4a). Ten noorden van de Raalte Randbreuk werden dikke pakketten anhydriet afgezet, die deel uitmaken van het anhydrietplatform ten noordoosten van het kaartbladgebied. De differentiële bewegingen hielden nog tijdens de afzetting van de Z1 (Werra) Formatie op; jongere afzettingen van de Zechstein Groep liggen hier als een deken overheen (Geluk et al., 1997).



Tijdens de afzetting van de Z2 (Stassfurt) tot Z4 (Aller) Formatie werd het areaal met zoutsedimentatie steeds kleiner (fig. 6.4b t/m d). Aanvankelijk werd er nog Z2 zout afgezet in het zuidoosten van het kaartbladgebied; tijdens de afzetting van Z3 en Z4 Formatie bleven de zoutvoorkomens beperkt tot het noordelijk deel van het kaartbladgebied. Tevens ging het zuiden van het kaartbladgebied deel uitmaken van de rand van het Zuidelijk Perm Bekken en vonden er afzettingen van klastica plaats. De sedimentatie vond hier nog slechts plaats tijdens de initiële transgressies. Tijdens de transgressies heersten er gedurende de Z1 (Werra) tot en met Z3 (Leine) Formaties normaal mariene omstandigheden, maar tijdens de Z4 (Aller) Formatie vond er een overgang plaats naar continentale afzettingsomstandigheden. Aan het eind van het Perm vond een omslag in sedimentaire milieu plaats; evaporieten maakten plaats voor lacustriene klei- en siltstenen. Deze klastica zijn afkomstig uit zuidelijke richting. De Zechstein Boven-Kleistein Formatie, die de overgang vormt naar puur klastische omstandigheden, rust met een hiaat op oudere afzettingen van de Zechstein Groep.

### 13.2.3 Trias

De Trias kenmerkt zich aanvankelijk door een uiterst gelijkmatige bekkendaling. Het Zuidelijk Perm Bekken bleef voortbestaan en wordt om die reden ook het Permo-Triassisch Bekken genoemd. Ten gevolge van een tweetal fasen van rektektoniek werd tijdens de Trias het bekken gemodificeerd en door verschillende NNO-ZZW georiënteerde elementen doorsneden, zoals het Eems Diep in het oosten van Nederland, het *Off-Holland Low* voor de westkust van Nederland en de Centrale Noordzee Slenk (Ziegler, 1990). De aangevoerde klastica tijdens de Trias zijn van het zuidelijk gelegen Varistische gebergte afkomstig.

In het gebied werden aanvankelijk sedimenten in een lacustrien tot playa-milieu afgezet in een semi-aride klimaat. Opheffing van de brongebieden, in combinatie met fluctuaties van de waterspiegel in het bekken, leidden tot de episodische uitbouw van riviersystemen in het bekken. Hierdoor werd een cyclische opeenvolging van zand en klei/silt afgezet (Geluk & Röhling, 1997). Tijdens de Hardeggen fase in de Vroeg-Trias werden verschillende Varistische tektonische elementen gereactiveerd. In het noorden van het kaartbladgebied ontstond een hoog, de *Netherlands Swell*. De erosie bedroeg hier ruim 300 m. In het gehele kaartbladgebied heeft de erosie van de Hardeggen fase in de onderliggende afzettingen ingesneden. Uitgezonderd in de Roerdal Slenk, zijn door deze bewegingen slechts de onderste afzettingen van de Hoofd-Bontzandsteen Subgroep bewaard gebleven (fig. 7.5).

Na de Hardeggen fase zette een lange periode van daling in, die voortduurde tot het Midden-Keuper (Carnien). De Vroeg-Trias structuren daalden zeer gelijkmatig (Geluk et al., 1996), waardoor de lacustriene afzettingen van de Solling Formatie het gehele gebied konden bedekken. Tijdens de Midden-Trias krijgt het Permo-Triassisch Bekken in het oosten een verbinding met de open oceaan. Er vindt ten gevolge van een zeespiegelstijging (Vail et al., 1977) een langzame transgressie plaats. Deze transgressie stagneerde een aantal malen, hetgeen leidde tot de afzetting van evaporieten in het gehele bekken (Hoofd-Röt Evaporiet, Boven-Röt Evaporiet, Muschelkalk Evaporiet).

Tijdens het Laat-Anisien (Midden-Trias) heersten mariene omstandigheden in het gebied. 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). Deze afzettingen zijn in een groot deel van het gebied door latere erosie verdwenen. In het centrale deel van het kaartbladgebied blijkt dat de Muschelkalk Formatie in bekkenfacies is afgezet met steenzout in de Midden-Muschelkalk. Tijdens de afzetting van de Keuper Formatie daalde het gebied vermoedelijk reeds iets minder dan de gebieden ten noord-oosten hiervan.



Vanaf het Carnien (Laat-Trias) begon een tektonisch zeer actieve periode die tot in het vroegste Krijt zou voortduren. In deze periode voltrok zich de desintegratie van Pangea en begon de opening van de Atlantische Oceaan (Ziegler, 1990). Dit manifesteerde zich met een viertal grootschalige extensionele fasen, de zogenaamde Kimmerische fasen, die de structurele ontwikkeling van Noordwest-Europa beheersten. Om praktische redenen worden zij gerelateerd aan belangrijke hiaten in de stratigrafische opeenvolging.

De eerste, Vroeg-Kimmerische tektonische fase leidde in dit gebied tot een zeer sterke reliefvorming. In het Centraal-Nederland Bekken bleven alleen de oudste afzettingen van de Keuper, het Onder-Keuper Kleisteen Laagpakket, bewaard in het centrale deel en in het noorden van het kaartbladgebied.

Het gehele kaartbladgebied bleef langdurig onderdeel van een hoog en pas later bedekten afzettingen van het Rode Keuper Kleisteen en het Dolomitische Keuper Laagpakket dit reliëf, gevolgd door de markante Rhaetien-transgressie waardoor mariene sedimenten van de Sleen Formatie in het kaartbladgebied werden afgezet.

#### 13.2.4 Jura

De in het Rhaetien (jongste Trias) ingezette daling zette zich voort in de Vroeg-Jura. In combinatie met een zeespiegelstijging resulteerde dit in de afzetting van fijnkorrelige mariene sedimenten. De afzettingen van de Vroeg- tot Midden-Jura komen tegenwoordig in gescheiden bekkens voor en in het kaartbladgebied zijn ze sterk in dikte gereduceerd (Kaart 6). Toch zijn ze ooit in één aaneengesloten zeer groot gebied afgezet, dat zich uitstreckte van het voormalige Permo-Triassisch Bekken tot het Bekken van Parijs. Dit is af te leiden uit de uniforme opbouw en het fijnkorrelige karakter van de afzettingen. Ten zuidoosten van het kaartbladgebied bevond zich een hoog in dit mariene bekken, het Rijns Massief. De invloed op de sedimentatie was echter gering. Aan het eind van de Vroeg-Jura (Toarcien) trad een periode op, waarin de watercirculatie in de zeebekkens stagneerde, waardoor in grote delen van Noordwest-Europa organisch-rijke sedimenten werden afgezet (Posidonia Schalie Formatie). In het kaartbladgebied zijn deze afzettingen lokaal in het Centraal-Nederlands Bekken bewaard gebleven (fig. 8.4).

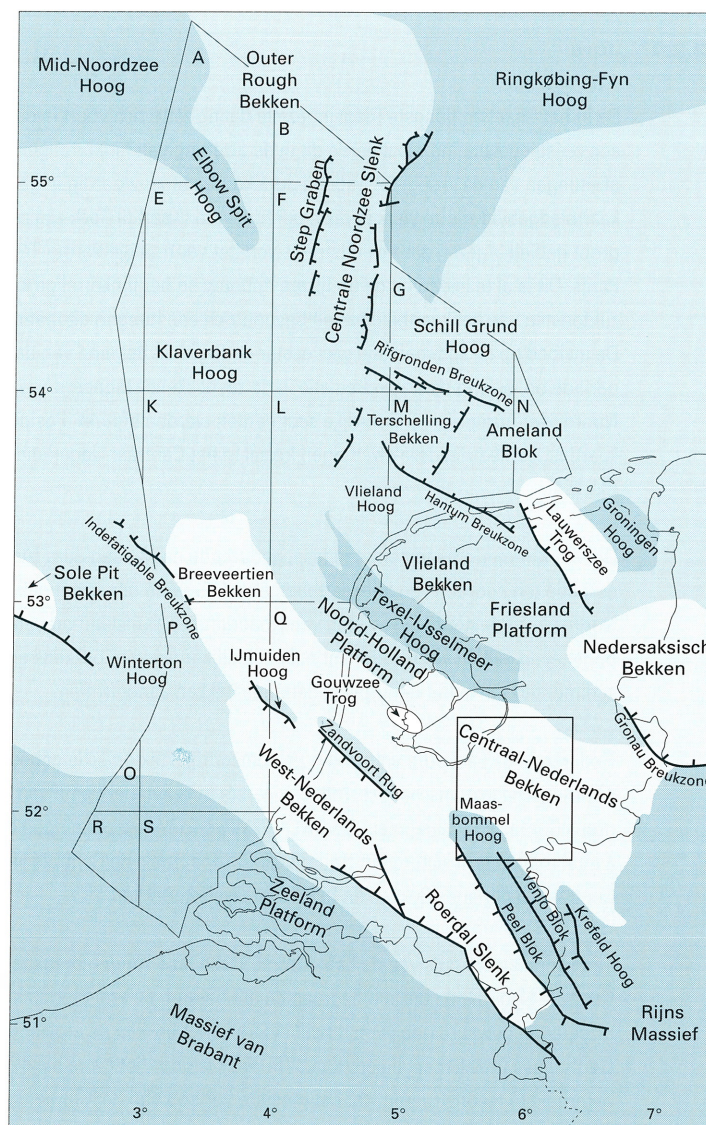
De Mid-Kimmerische tektonische fase, gedurende de Midden-Jura (Aalenien-Bathonien), voltrok zich in essentie ten noorden van het kaartbladgebied. Er werd een groot gebied opgeheven dat de centrale Noordzee en de noordelijke delen van Nederland en Duitsland omvatte (Ziegler, 1990). Vanaf dit opgeheven gebied werd sediment naar zuidelijker gelegen bekkens getransporteerd. Restanten van deze sedimenten zijn in het Centraal-Nederlands Bekken aangetroffen.

Gedurende de Laat-Jura voltrokken zich belangrijke tektonische gebeurtenissen tijdens de Laat-Kimmerische tektonische fase, met een eerste puls aan het begin van de Laat-Jura en een tweede op de grens Berriasien-Valanginien. De ONO-WZW gerichte rekspanningen leidden tot sterke daling van een aantal markante structuren in Noordwest-Europa, zoals de Centrale Noordzee Slenk, het West- en Centraal-Nederlands Bekken en het Nedersaksisch Bekken.

Tijdens de eerste puls van de Laat-Kimmerische fase vonden breukbewegingen en erosie plaats. In het Centraal-Nederlands Bekken bedroeg de erosie ruim 600 m. Slechts in de slenken zijn nog Vroeg-Jura afzettingen bewaard gebleven terwijl elders in het bekken de erosie tot in de afzettingen van de Boven-Germaanse Trias Groep sneed (Kaart 16). Vaak is door het grote hiaat in de opeenvolging niet met zekerheid te reconstrueren wat het precieze verloop van de Kimmerische en latere erosiefasen is geweest.

Tijdens het Portlandien (laatste deel van de Laat-Jura) stond het Centraal-Nederlands Bekken in verbinding met het Nedersaksisch Bekken en het West-Nederlands Bekken, hetgeen blijkt uit de overeenkomsten van de sedimentaire opeenvolging in zowel de opbouw en de ouderdom. Sedimentatie vond plaats het diepere centrale deel van het bekken, de Voorthuizen Trog, onder fluviatiele en paralische omstandigheden: de Schieland Groep. De facies van de in het noorden aangetroffen sedimenten van de Nedersaksen Groep komen meer overeen met de afzettingen uit het Nedersaksisch Bekken, die onder brakke tot marginaal mariene omstandigheden werden afgezet.

*Figuur 13.3* Overzichtskaat van de voornaamste structurele elementen in Nederland tijdens het Laat-Jura tot Vroeg-Krijt. De positie van het kaartbladgebied is met een kader weergegeven.





### 13.2.5 Krijt

Tijdens het Krijt zette een geleidelijke zeespiegelstijging in, die in het Laat-Krijt zijn hoogtepunt zou bereiken (Hancock & Scholle, 1975). Tegelijkertijd maakte differentiële daling plaats voor regionale daling, waardoor de sedimentatie zich tegen het einde van het Vroeg-Krijt tot over het gehele kaartbladgebied had uitgebreid, met uitzondering van het uiterste zuidoosten. De Krijt-transgressie was waarschijnlijk de respons op de toegenomen spreidingssnelheid van de oceanabodem en de daaraan gekoppelde volumevergroting van de mid-oceanische ruggen (Pitman, 1978; Donovan & Jones, 1979). De daling ging door, totdat in het Laat-Krijt inversiebewegingen van de Subhercynische fase leidden tot een opheffing van de bekkengebieden en een daling van de voormalige hogen.

Aan het einde van het Vroeg-Krijt was de bekkendaling regionaal van aard en het sedimentatiegebied breidde zich ten opzichte van de Laat-Jura nog verder uit naar het zuiden en oosten. Brakwater influx in het noorden van het kaartbladgebied wijst op een verbinding met het Vlieland Bekken en de Centrale Noordzee Slenk gedurende korte periodes; uit deze bekken zijn mariene sedimenten met een gelijke ouderdom bekend. Tijdens het Valanginien of misschien iets later kwam het Centraal-Nederlands Bekken ten gevolge van een zeespiegelstijging in verbinding met voornoemde mariene bekken.

De tweede puls van de Laat-Kimmerische fase, tijdens het Valanginien, leidde tot een accentuering van het reliëf in het bekken. Het Dalfsen Hoog, Friesland Platform en Maasbommel Hoog werden sterk opgeheven en er vond diepe erosie plaats, waardoor lokaal de Rijnland Groep op de Limburg Groep rust (Kaart 17). Het erosiemateriaal werd in de centrale delen van het bekken afgezet; het Centraal-Nederlands Bekken bleef waarschijnlijk dalen. Tijdens het Hauterivien en Barremien breidde het sedimentatiegebied zich verder uit, maar nog niet over de aangrenzende hogen.

Tijdens het Aptien vond de Austrische tektonische fase plaats die een kortdurende regressie tot gevolg had (Ziegler, 1990). Deze bewegingen leidden tot de reactivatie van hogen in het noorden en zuiden van het gebied en daardoor tot een hiaat in de sedimentaire opeenvolging. Op het Maasbommel Hoog rusten afzettingen uit het Laat-Aptien op de Limburg, de Zechstein, de Boven-Rotliegend of op de Onder-Germaanse Trias Groep. In het noorden op het Friesland Platform en het Dalfsen Hoog rusten afzettingen uit het Albien op de Limburg, de Zechstein, de Onder-Germaanse Trias of Altena Groep.

Na de Austrische fase zette een regionale daling van het gebied in. Tijdens het Laat-Aptien en vooral in het Albien, werden alle hogen in en rondom het kaartbladgebied door de zee overspoeld. De Albien-transgressie wordt in geheel NW-Europa herkend (Crittenden, 1987). Tijdens het Albien tot Turonien zette deze zeespiegelstijging zich voort. Het zeegebied in NW-Europa breidde zich sterk uit. De influx van klastisch materiaal nam af en in een ondiepe zee werden kleien en mergels (Boven-Holland Mergel) en, tijdens het Cenomanien en Turonien, ook dikke pakketten mergel en kalksteen afgezet. De grootste daling bleef in het Centraal-Nederlands Bekken geconcentreerd, maar in bekken in NW-Duitsland blijkt dat de verschillen in daling sterk afgenomen waren en breukbewegingen zich nauwelijks meer voor deden (Baldschuhn et al., 1991).

Aan deze periode van regionale daling kwam een einde tijdens het Coniacien. Oorzaak was een belangrijke plaatreorganisatie als gevolg van oceanabodem-spreiding in de Arctische en Noord-Atlantische Oceaan (Coward, 1991), de botsing tussen Europa en Afrika (Ziegler, 1987) en lokale factoren (Baldschuhn et al., 1991). Dit resulteerde in een compressief tektonisch regime in geheel NW-Europa. Tijdens de periode Coniacien tot Vroeg-Campanien leidde dit tot een omkering van de bewegingsrichting langs breuken, de inversie van de voormalige Laat-Jura/Vroeg-Krijt bekken en een sterke daling van de voormalige hogen (Baldschuhn et al., 1991; Tantow, 1992). Deze hogen vormden de randtroggen

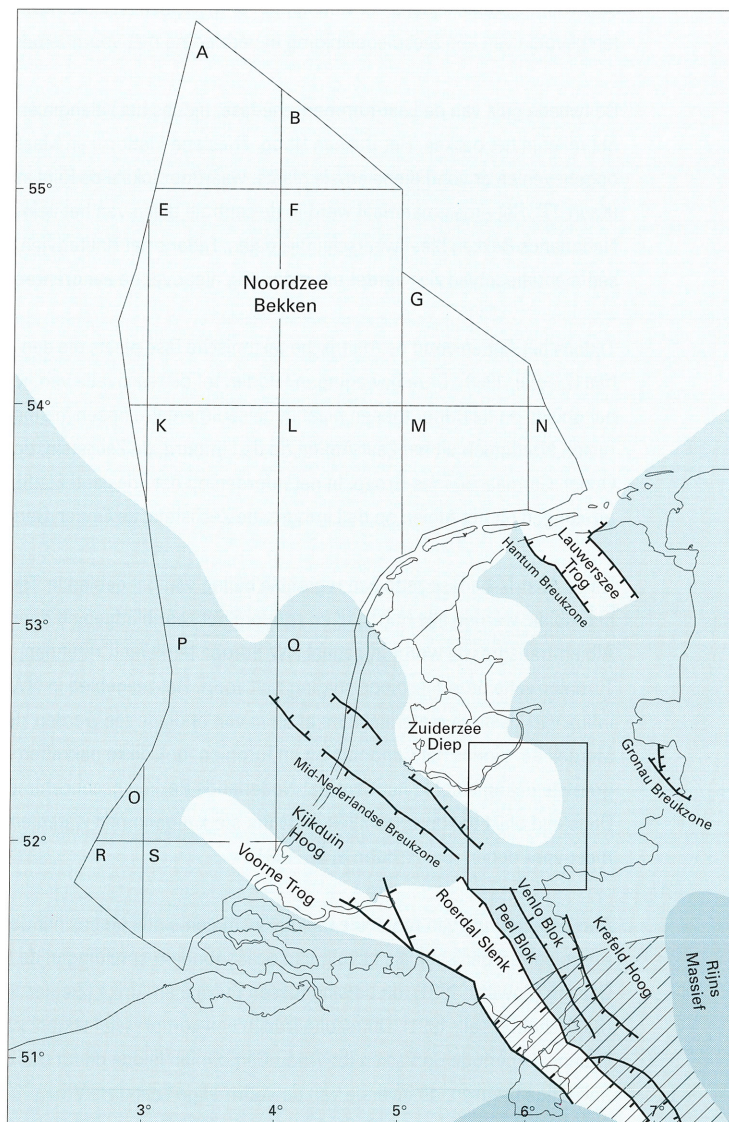


van de opgeheven gebieden en de mate van daling is gerelateerd aan de mate van opheffing van de naastgelegen bekkens (Voigt, 1963).

In het Centraal-Nederlands Bekken waren de opheffing en erosie sterker dan de voorafgaande daling; hierdoor werden behalve de vrijwel gehele Laat-Jura tot Vroeg-Krijt opeenvolging, maar ook nog een deel van de hieronder liggende afzettingen geërodeerd (Kaarten 1 t/m 13). Op de aangrenzende voormalige hogen, zoals het Friesland Platform en het Maasbommel Hoog, werden dikke pakketten van de Krijtkalk Groep afgezet.

Door geleidelijke afname van de tektonische activiteit gedurende het Campanien werd het relief afgevlakt. Elders vond tijdens het Maastrichtien weer afzetting van krijtkalken plaats, maar de afwezigheid van deze afzettingen in het kaartbladgebied duiden eerder op non-depositie dan op latere erosie. Nergens onder de krijtkalken van Danien ouderdom zijn afzettingen van Maastrichtien

*Figuur 13.4* Overzichtskaat van de voornaamste structurele elementen in Nederland tijdens het Kenozoicum. De positie van het kaartbladgebied is met een kader weergegeven.

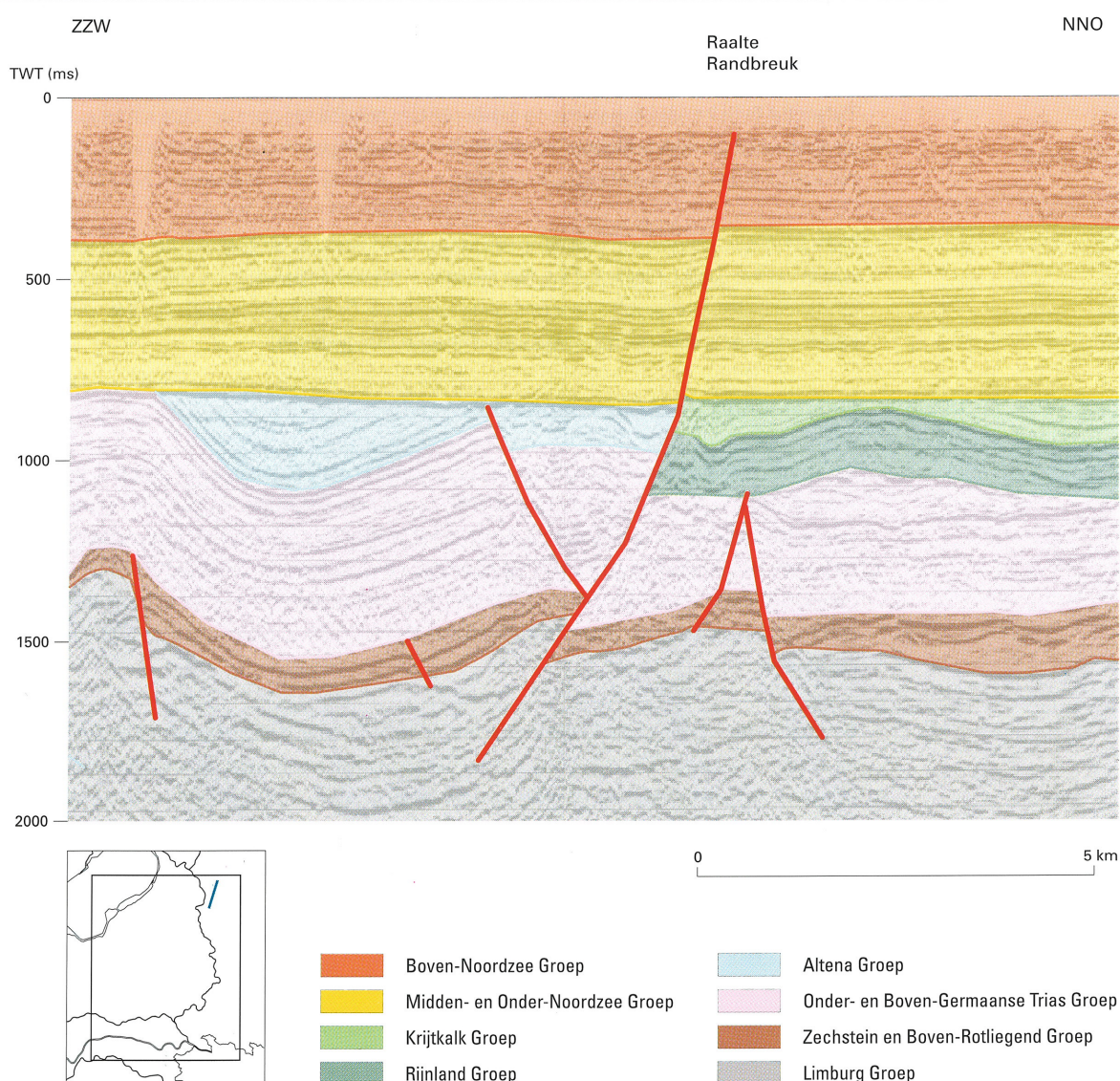




aangetroffen. De Formatie van Houthem (fig.11.4) komt voor in het noordwesten van het kaartbladgebied, waar ze, net zoals de afzettingen in het aangrenzende deel van Duitsland (fig. 11.4), rusten op de Altena Groep (Elberskirch & Wolburg, 1962). Na het Danien vonden de tektonische bewegingen van de Laramische fase plaats aan het begin van het Laat-Paleoceen en kwam een eind aan de kalksedimentatie.

### 13.2.6 Kenozoïcum

De belangrijkste ontwikkeling van het Tertiair en Kwartair wordt bepaald door het ontstaan van het Noordzee Bekken, dat tot op heden het sedimentatiepatroon beïnvloedt. Tijdens het Tertiair en Kwartair zorgden een stijgende zeespiegel en een voortgaande daling voor de afzetting van meer dan 3500 m



Figuur 13.5 Seismische sectie die de Raaften Randbreuk toont met aan de NNO zijde de Krijt afzettingen op het Friesland Platform, die aan de ZZW kant in het Centraal-Nederlands Bekken geheel ontbreken.

sediment in het centrale deel van dit bekken (Ziegler, 1990). In het Zuiderzee Diep in het noordwestelijk deel van het kaartbladgebied is de daling geringer geweest -ongeveer 1500 m- terwijl het grootste deel van het gebied zich bevond aan de oostelijke rand van het bekken, hetgeen duidelijk tot uitdrukking komt in de dikteontwikkeling van de Noordzee Supergroep (Kaarten 14 & 15).

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. Voor het kaartbladgebied is de Pyreneïsche fase ingrijpend geweest met de opheffing van de Mid-Nederlandse Breukzone, waardoor op het Maasbommel Hoog, het Peel en Venlo Blok diepe erosie plaatsvond (fig. 3.1d & 13.4). De afzetting van de Noordzee Supergroep vond hierdoor met de nodige hiaten en erosie plaats. De meeste sedimenten zijn wel in het kaartbladgebied afgezet, maar later weer geërodeerd. Dit kan worden afgeleid uit de facies van de afzettingen en geïsoleerde voorkomens in relatie tot afzettingen buiten het kaartbladgebied.

Tijdens het Tertiair treden nog slechts op enkele plaatsen breukbewegingen op. Deze zijn terug te voeren op reactivaties van oudere breuken, ontstaan tijdens de eerder genoemde tektonische fasen. De daling van het Zuiderzee Diep, vanaf ongeveer het Mioceen tot in het Kwartair, is echter niet breukgerelateerd.

Tijdens het Plioceen zette een verlanding van het kaartbladgebied in; dit deed zich het eerst voor in het oosten van het gebied. Tijdens het Kwartair heersten in het westen aanvankelijk nog mariene omstandigheden, later gevolgd door continentale condities. De huidige topografie van het kaartbladgebied is door meerdere glaciale en interglaciale gevormd.

#### **13.2.6.1 Neotektoniek en glaciale morfologie**

Het Kwartair wordt gekarakteriseerd door een groot aantal glaciale en interglaciale perioden. In het Vroeg-Pleistoceen zijn er sediment indicatoren die op smeltwaterafzettingen wijzen. Het noordelijke deel van Nederland is tijdens twee glaciale perioden in het Midden-Pleistoceen bedekt geweest met landijs. De jongste landijsbedekking, die uit het Saalien duurde circa 70.000 jaar (200.000- 130.000 BP) en wordt gekenmerkt door het ontstaan van een aantal duidelijk morfologische verschijnselen (zoals stuwwallen, sandrs en glaciale bekkens) en specifieke sedimenten (keileem, fluvio-glaciale en glacio-lacustriene afzettingen).

De grootste stuwwallen of glacio-tektonische ruggen komen voor in midden Nederland en zijn plaatselijk tot 10 kilometer breed, 100 meter hoog en meer dan 60 kilometer lang, zoals de oostelijke Veluwe gelegen in het kaartbladgebied. De meer westelijk gelegen ruggen, zoals de Utrechtse Heuvelrug, zijn van een veel kleinere dimensie.

De glacio-tektonische ruggen bestaan vooral uit fluviatiele zanden van Midden-Pleistocene ouderdom en vertonen naast duidelijke verschuivingen ook opschuivingen, overschuivingen en plooiën (Van der Wateren, 1995).

Het landijs heeft zich in het noorden van Nederland waarschijnlijk relatief snel over de bevroren bodem naar het zuiden bewogen. De snelheid werd veroorzaakt door de fijnkorrelige samenstelling van de ondergrond waardoor in deze sedimenten onder het landijs de waterdruk sterk toenam en de schuifweerstand langs het bewegingsvlak juist afnam.



In midden Nederland en in het gebied van kaartblad IX bestond de ondergrond tijdens de landijsbedekking uit grofkorrelig sediment. Hier nam de waterdruk onder het ijs af en ging het ijs langzamer stromen. Door de hierdoor toenemende schuifweerstand aan de basis van het ijs nam de dikte van het landijs waarschijnlijk toe (Schokking, 1989; De Mulder et al., 2003).

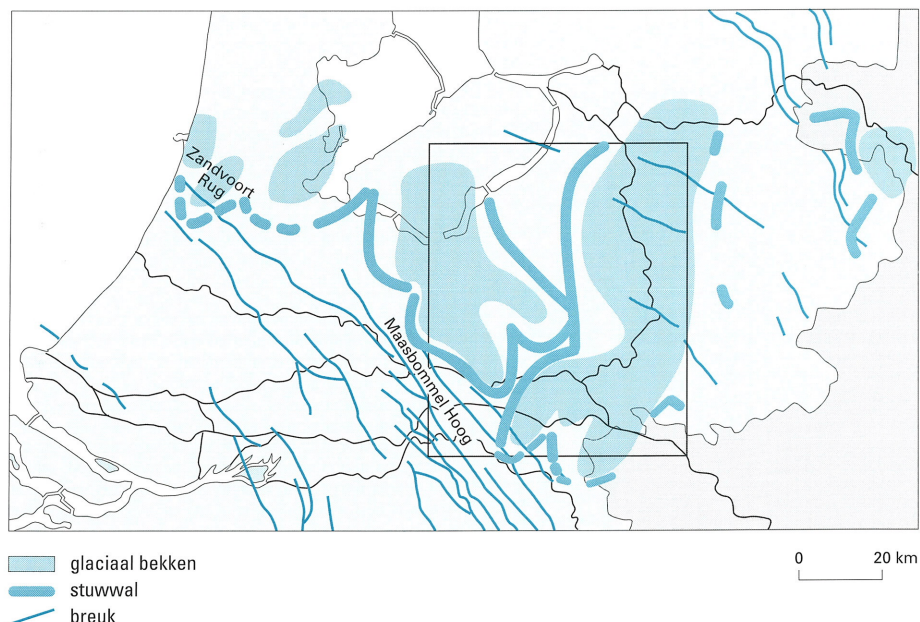
Onder de randzone van het landijs vond door de grote hoeveelheid smeltwater die hier werd geproduceerd, erosie onder het ijs plaats. In de zo ontstane laagten onder het ijs zakte de ijsmassa naar beneden. Nadat de dikte van het ijs weer was toegenomen herhaalde dit proces zich en ontstonden uiteindelijk de glaciale bekkens of tongbekkens.

De glacio-tektonische ruggen liggen rondom het distale deel van glaciale bekkens (fig. 13.6). Deze bekkens hebben in de lengterichting een asymmetrische doorsnede met het diepste deel aan de noordzijde van het bekken. De diepten van de bekkens reikt tot meer dan 100 meter –NAP (De Gans et al., 1987). De glaciale bekkens in westelijk Nederland zijn relatief klein, wat in overeenstemming is met de grootte van de hier gelegen glacio-tektonische ruggen.

Over de dikte van het landijs in Nederland tijdens het Saalien valt weinig met zekerheid te zeggen. Op grond van de diepte van de bekkens en de hoogte van de stuwwallen waarop nog glaciale afzettingen voorkomen, kan worden afgeleid dat het landijs in de diepste delen van de bekkens zeker 200 meter dik is geweest. Hoe deze dikten verder naar het noorden zijn geweest hangt af van de afstand tot het ijsfront en de samenstelling van de ondergrond. Modelberekeningen die hiervoor zijn uitgevoerd suggereren een dikte van ongeveer 600 meter op een afstand van 5 kilometer van het ijsfront. Op een afstand van 10 kilometer zou de dikte 1200 meter bedragen. Deze getallen wijken echter af van waarnemingen aan recente gletschers die veel geringere dikten laten zien (Schokking, 1989; de Mulder et al., 2003).

In Nederland is nog weinig gedocumenteerd over het voorkomen van isostatische bewegingen gedurende en na afloop van ijstijden. Faber veronderstelde echter reeds in 1926 dat de landijsbedekking 'rijzing en daling' van de bodem tot gevolg zou hebben gehad. Teunisse (1961) veronderstelde een relatie

**Figuur 13.6** De ligging van glaciale bekkens, stuwwallen en de Mid-Nederlandse Breukzone in Nederland (naar Van den Berg et al., 1987; De Gans et al., 1987).



tussen het voorkomen van tongbekkens en breuken in het Zuiderzeebekken, maar van enige relatie blijkt geen sprake. Evenmin als tussen stuwwallen en breuken (Van Balen et al, in druk).

Voor het Weichselien, toen het ijsfront in Denemarken stagneerde, wordt het naar het zuiden verschuiven van het rivierdal van de Rijn van het traject via het IJsseldal, Zwolle en Alkmaar naar het traject Arnhem-Rotterdam, wel in verband gebracht met een *forebulge*, dat is een hoog gebied naast de ijskap, dat door isostatische bewegingen omhoog is gekomen. (Törnqvist et al, 2000). Het optreden van anomalieën in zeespiegelcurven als gevolg van glacio-hydro-isostatische *rebound* gedurende het Laat-Weichselien en Holoceen (Lambeck, 1995; Lambeck et al., 1998) wordt ook aan deze *forebulge* toegeschreven.

Over het voorkomen van een *hinge zone*, dat is een gebied dat eveneens door isostatische bewegingen omhoog is gekomen, maar in dit geval langs breuken, is tot zover niets met zekerheid bekend. Opvallend is wel dat de zuidelijke begrenzing van glaciale bekkens en stuwwallen in Nederland gedurende het Saalien samenvalt met de noordflank van de Mid-Nederlandse Breukzone (De Gans et al., 1987; zie ook Rijks Geologische Dienst, 1984), waardoor de suggestie wordt gewekt dat deze zone (Zandvoort Rug en Maasbommel Hoog) lokaal als een barrière heeft gefungeerd in het Saalien (fig. 13.6). Mogelijk zou het hoog als gevolg van isostatische bewegingen langs breuken in een hogere positie hebben gelegen. Het is inderdaad bekend dat de breuken langs de Mid-Nederlandse Breukzone in het Saalien, maar ook daarna, actief zijn geweest (Van Balen et al, in druk), maar de mate waarin dit heeft plaatsgevonden is onduidelijk. Daarom is een afdoende bewijsvoering betreffende een mogelijke causale relatie tussen de Mid-Nederlandse Breukzone, glacio-tectonische verschijnselen en de zuidelijke begrenzing van het landijs gedurende het Saalien vooralsnog niet voorhanden.

# 14 Toegepaste geologie

## 14.1 Inleiding

De ondergrond van Nederland is geschikt voor diverse gebruiksmogelijkheden, anders dan olie-, gas- of zoutwinning. In het kaartbladgebied is in de jaren 80 van de vorige eeuw in het kader van het Project Inventarisatieonderzoek Nederlandse Kolenvoorkomens, eerste fase 1981-1985, de boring Joppe-1 gezet. Ook is er geboord naar mineraalrijk water op een diepte van 700 m en is er een boring gezet met een brede diameter om als reactorvat te dienen voor slibverwerking. Ondiepere afzettingen dienen als aquifer voor zoet grondwater.

## 14.2 Petroleumssystemen

### 14.2.1. Inleiding

Tot op heden zijn geen olie- of gas accumulaties aangetroffen in het gebied van kaartblad IX. De aanwezigheid van deze accumulaties is echter niet uitgesloten. In deze paragraaf worden de verschillende factoren besproken van mogelijke petroleumssystemen voor kaartblad IX.

Een petroleumstelsel bestaat uit vijf elementen: het moedergesteente, de migratieroute, het reservoir, de afsluitende laag en de juiste ontwikkeling in de tijd (timing).

### 14.2.2 Moedergesteenten

De enige aangeboorde gesteenten met een hoog gehalte aan organisch materiaal zijn de kolen uit de Carboon afzettingen, met name uit de Maurits, Ruurlo en Baarlo Formatie. Uit deze kolen zal voornamelijk gas gegenereerd zijn. De Baarlo Formatie is aangeboord in het zuiden van het kaartbladgebied. De inkolingsgegevens, die van 6 putten in of nabij kaartblad IX beschikbaar zijn, tonen aan dat de inkoling per put verschilt op gelijke diepte (fig. 14.1a). Hieruit blijkt duidelijk dat de sedimenten niet recent zijn ingekoold: er is een eerdere fase van inkoling geweest. Dit duidt op verschillen in de begravingsgeschiedenis (fig. 14.2a). Om meer inzicht te krijgen in de effecten van deze verschillen op de inkoling is er een zogenaamde "stratigrafische correctie" toegepast, waarbij dezelfde inkolingsdata afgebeeld zijn ten opzichte van de overgang tussen de Maurits en de Ruurlo Formatie (fig. 14.1b). Hieruit blijkt dat de kolenvoerende pakketten in de boringen Zeddam-1, Dronten-1 en Zeewolde-1 zich op dit moment in het *oil window* (fig. 14.2b) bevinden; dat wil zeggen dat de sedimenten in principe voldoende zijn ingekoold om olie te genereren. Echter, het potentieel voor oliegeneratie is zeer beperkt, omdat de koollagen bestaan uit organisch materiaal van terrestrische oorsprong (Type III organisch materiaal). Voor gasgeneratie op deze locaties is de inkoling nog te laag.

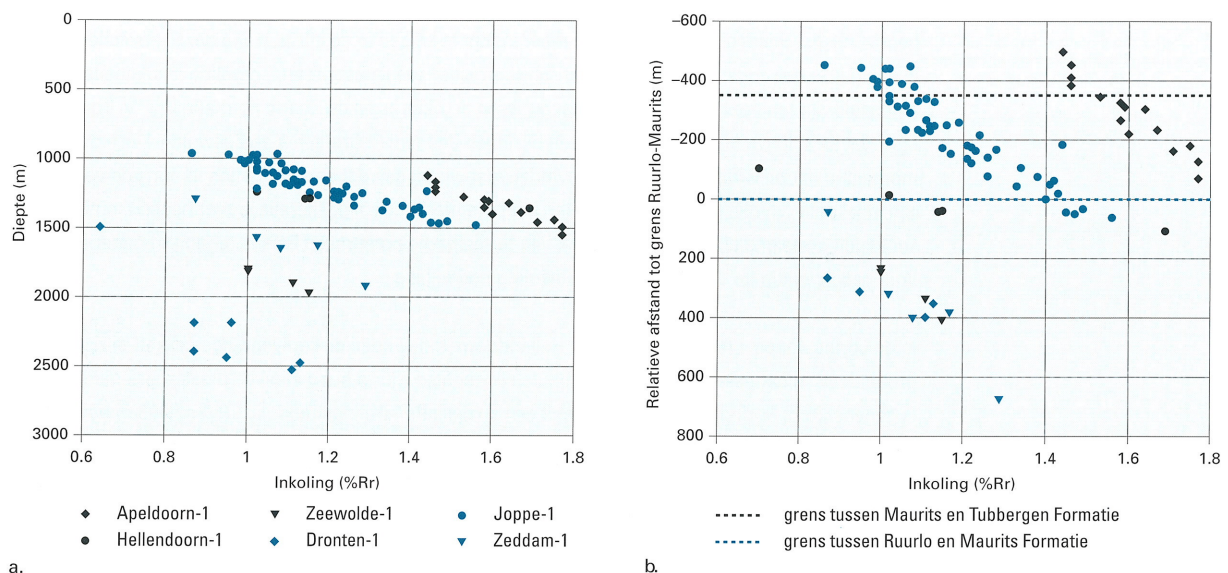
In de boring Joppe-1 (en deels in boring Hellendoorn-1) bevinden de koolvoerende pakketten zich grotendeels in het *gas window* (fig. 14.2b); de sedimenten zijn zo hoog ingekoold dat er gas uit de kolen is gegenereerd. Boring Hellendoorn-1 heeft een afwijkende inkolingsstrend: op 1150 m (103 m boven de overgang tussen de Maurits en de Ruurlo Formatie) ligt de inkoling nog op de inkolingsstrend van de boringen Zeddam-1 en Zeewolde-1, terwijl daarna de inkoling veel sneller toeneemt met de diepte dan in de andere boringen. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een intrusie, waarvoor aanwijzingen gevonden zijn in kleilagen op een diepte van circa 1450 m (zie paragraaf 4.2). De inkoling van de sedimenten in boring Dronten-1 toont een soortgelijke inkolingsstrend. Gezien de complexe tektoniek die op deze locatie heeft plaatsgevonden is het hier echter moeilijk om een directe oorzaak aan te wijzen. De kolenvoerende pakketten in de boring Apeldoorn-1 zijn thans het hoogst ingekoold en kunnen merendeels als overrijp beschouwd worden; d.w.z. dat de generatie van gas al in een vroeger stadium heeft plaatsgevonden.



Naast de kolenlagen uit het Carboon bevinden zich in de Altena Groep ook mogelijke moedergesteentes voor gas en olie, afhankelijk van het type organisch materiaal. De Altena Groep is aanwezig in het centrum en het noorden van het kaartbladgebied. Er zijn echter geen analyses uitgevoerd die het potentieel van deze sedimenten kunnen bevestigen. Binnen de Altena Groep is de Posidonia Schalie Formatie de meest waarschijnlijke kandidaat als moedergesteente. De Posidonia Schalie Formatie is niet aangeboord, maar er zijn aanwijzingen op de seismiek dat deze op verschillende locaties in het kaartbladgebied aanwezig is (fig. 8.4). Uit analyses van monsters uit de Posidonia Schalie Formatie op andere locaties in Nederland is bekend dat het organisch materiaal een mariene oorsprong heeft en geclassificeerd wordt als Type II. Mogelijk, maar minder waarschijnlijk, hebben ook afzettingen in de Sleen en Aalburg Formatie voldoende organisch materiaal om als moedergesteente te hebben gefunctioneerd.

Verder zijn organische rijke lagen uit de Nedersaksen Groep mogelijke moedergesteentes. De eenheid uit deze groep met organisch materiaal is het Weiteveen Basale Klastica Laagpakket, waarin plantenresten veelvuldig voorkomen (Van Adrichem Boogaert & Kouwe, 1993-1997). De eenheid is een klein gebied in het noorden van het kaartblad aangetroffen.

Voor deze afzettingen van Mesozoïsche ouderdom, met uitzondering van de Posidonia Schalie Formatie, is het de vraag of het organisch gehalte voldoende is voor de generatie van substantiële hoeveelheden koolwaterstoffen. Bovendien lijkt het niet waarschijnlijk dat deze afzettingen een voldoende mate van rijpheid hebben bereikt voor generatie van koolwaterstoffen.



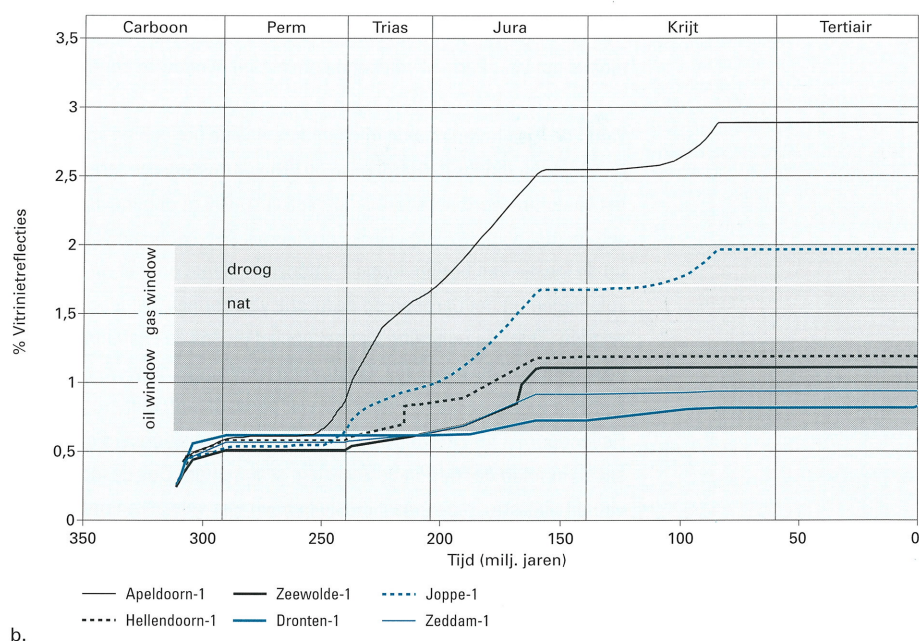
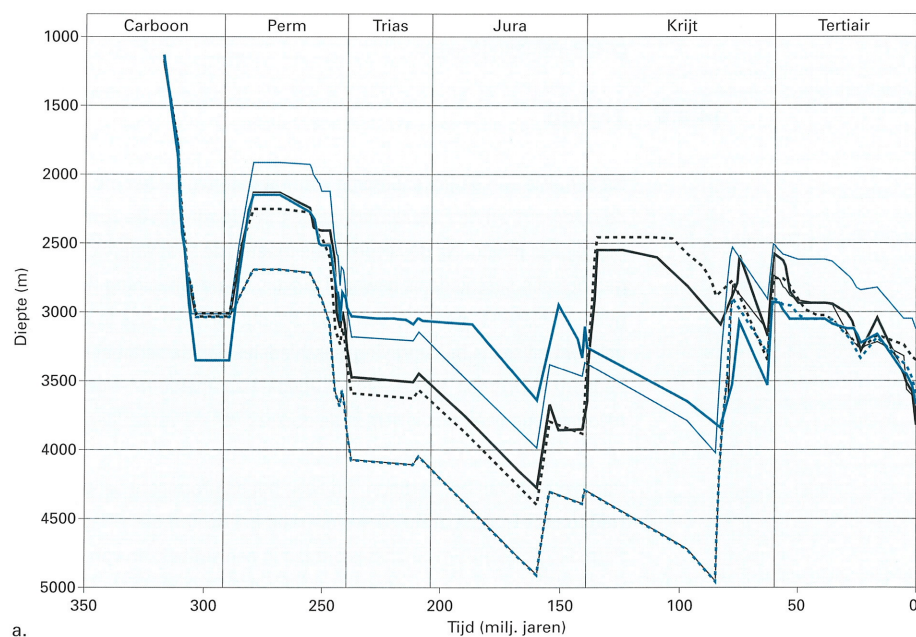
Figuur 14.1a Gemeten vitrinietreflectiewaarden uitgezet tegen de diepte van de boringen Apeldoorn-1, Hellendoorn-1, Zeewolde-1, Dronten-1, Joppe-1 en Zeddam-1.

Figuur 14.1b Gemeten vitrinietreflectiewaarden uitgezet tegen de relatieve diepte ten opzichte van de stratigrafische overgangen in het Westfalen.

### 14.2.3 Migratieroutes

Migratie van gegenereerde koolwaterstoffen kan diffuus plaatsvinden via de afzettingen boven het moedergesteente, maar zal vooral hebben plaatsgevonden via breuken in de ondergrond. Gezien de begravingsgeschiedenis van het gebied zal een groot gedeelte van de gegenereerde koolwaterstoffen in het geologische verleden gemigreerd zijn naar het oppervlak.

**Figuur 14.2a** Begravingsgeschiedenis van de boringen Apeldoorn-1, Hellendoorn-1, Zeewolde-1, Dronten-1, Joppe-1 en Zeddam-1. De begravingsgeschiedenis van Apeldoorn-1 en Joppe-1 vertoont vanaf het Carboon tot de Subhercynische fase in het Laat-Krijt een identiek karakter.  
**Figuur 14.2b** Gemodelleerde inkolering, uitgedrukt in % vitrinietreflecties van de boringen, in de loop van de geologische geschiedenis.



#### 14.2.4. Potentiële reservoirs

Er zijn verschillende geschikte reservoirs aanwezig in kaartblad IX. Met name de zandstenen van de Tubbergen Formatie, de Boven-Rotliegend Groep en de Onder-Germaanse Trias Groep zijn goede reservoirs voor koolwaterstofaccumulaties. Daarnaast lijken ook de Zechstein carbonaten geschikt als mogelijk reservoir.

#### 14.2.5 Afsluitende lagen

In kaartblad IX zijn met name de zoutlagen van de Zechstein Groep boven de zandstenen van de Boven-Rotliegend Groep en van de Rôt Formatie boven de zandstenen van de Onder-Germaanse Trias Groep goede afsluitende lagen.

#### 14.2.6 Timing

Na expulsie van de gegenereerde koolwaterstoffen uit het moedergesteente moeten de migratiepaden, de reservoirs en de afsluitende lagen aanwezig zijn om de vorming van olie- of gasaccumulaties mogelijk te maken. Na de accumulatie moeten de koolwaterstoffen in het reservoir gedurende de geologische geschiedenis bewaard blijven. De opeenvolging (timing) van de verschillende geologische gebeurtenissen is derhalve van groot belang. Om een idee te krijgen over de opeenvolging van deze gebeurtenissen is de begravingsgeschiedenis van de sedimenten op de locaties van de boringen Zeddam-1, Dronten-1, Zeewolde-1, Joppe-1 en Apeldoorn-1 gereconstrueerd (fig. 14.2a). Deze reconstructie geeft ook inzicht in de oorzaak van de verschillen in inkoling (fig. 14.1a&b).

Aan het eind van het Carboon zijn twee hogen prominent aanwezig in het kaartbladgebied: het Nederlands Hoog (boring Zeewolde-1) en het Achterhoek Hoog (boring Zeddam-1). Tijdens het Laat-Perm lag het centrum van het kaartblad in een subbekken van het Zuidelijk Perm Bekken. Hierdoor zijn de afzettingen uit het Laat-Perm in het centrum van dit bekken (boring Apeldoorn-1, Joppe-1, Hellendoorn-1, Dronten-1) dikker dan aan de randen van dit bekken (boring Zeewolde-1). Nog dunner zijn de afzettingen uit het Laat-Perm in boring Zeddam-1, die op de rand van het Zuid-Nederlands Platform afgezet zijn. In Apeldoorn-1 was de begraving van de sedimenten van de Ruurlo Formatie tijdens het Laat-Perm al voldoende om het *oil window* te bereiken (fig. 14.2b).

Vanaf de Trias tot en met de Midden-Jura daalde het gebied voornamelijk, op wat kleinere tektonische bewegingen tijdens de Hardegsen en Vroeg-Kimmerische fase na. Tijdens de Laat-Kimmerische fase in het Laat-Jura werd het kaartbladgebied circa 600 m opgeheven waardoor een groot deel van de sedimenten van de Altena Groep erodeerde. Aan het begin van de Trias bereikte de Ruurlo Formatie ook op de locatie van boring Joppe-1 voldoende diepte om het *oil window* te bereiken (fig. 14.2b). De kolenlagen uit het Carboon op de locatie van boring Apeldoorn-1 komen in de Vroeg-Jura in het *gas window*. Door de opheffing van het gebied tijdens de Laat-Jura nam de inkoling van de sedimenten in deze periode nauwelijks toe. Gedurende het Vroeg-Krijt werd het Friesland Platform tijdens de tweede Laat-Kimmerische fase opgeheven, wat gepaard ging met erosie. De huidige locaties van boringen Hellendoorn-1 en Zeewolde-1 waren destijds gepositioneerd aan de rand van dit platform. De erosie sneed in tot in de Trias en de Zechstein sedimenten. Ook de locatie van boring Dronten-1 lag aan de rand van dit platform, maar naast erosie hebben hier vele af- en opschuivingen de begravingsgeschiedenis van deze boring beïnvloed.

In tegenstelling tot het platform kende het Centraal-Nederlands Bekken (boringen Apeldoorn-1, Joppe-1 en Zeddam-1) tijdens het Vroeg-Krijt geen opheffing maar daling. In het bekken werden sedimenten van



de Vlieland subgroep afgezet. Hierna daalden het bekken en de bekkenranden en werden er in het hele gebied weer sedimenten afgezet. Aan het begin van het Laat-Krijt was de begraving van het moedergesteente weer diep genoeg om verder te kunnen rijpen.

Tijdens het Krijt vond inversie van het gebied plaats tijdens de Subhercynische fase. De grootste opheffing vond plaats in het centrum van het bekken (boringen Apeldoorn-1, Joppe-1 en Zeddam-1). Tijdens de inversie vond hier diepe erosie plaats waardoor op verschillende plaatsen in het gebied, zoals bijvoorbeeld op het Apeldoorn Hoog, sedimenten van Tertiaire ouderdom direct op sedimenten uit het Carboon liggen.

De randen van het bekken (boringen Hellendoorn-1 en Zeewolde-1) werden in mindere mate opgeheven, waardoor de erosie zich hier beperkte tot de sedimenten uit het Laat-Krijt. Na deze inversie vindt opnieuw sedimentatie plaats van carbonaten gedurende de laatste periode van het Krijt. Deze sedimenten worden echter tijdens de Laramische fase weer geërodeerd. Vanaf het Tertiair daalt het bekken voornamelijk, maar de moedergesteentes zijn nog niet diep genoeg gekomen om in het *oil window* te komen.

#### **14.2.7 Synthese**

In het kaartbladgebied is, door de tijd heen, voldoende potentieel aanwezig geweest voor met de generatie van gas. Uit de reconstructies blijkt dat de begraving van de Carboon sedimenten het diepst geweest is in het centrum van het bekken (boringen Joppe-1, Apeldoorn-1 en Zeddam-1). Aan de randen van het bekken (boringen Dronten-1, Zeewolde-1 en Hellendoorn-1) is de begraving duidelijk minder diep geweest, waardoor de sedimenten hier minder ingekoold zijn.

In het centrum van het kaartblad zijn de koolvoerende pakketten ook voldoende ingekoold om gas te genereren. Echter, de loop van de geologische geschiedenis was niet gunstig voor de vorming van accumulaties. Na generatie zal dit gas geaccumuleerd zijn in de zandsteenlagen van de Boven-Rotliegend Groep en de Onder-Germaanse Trias Groep. Veel van deze reservoirs zullen echter geërodeerd zijn tijdens de inversiefase ten tijde van het Krijt. De reservoirs die gespaard zijn gebleven zullen veelal hun gas zijn kwijtgeraakt door de opheffing en het daaraan gerelateerde drukverlies, waarschijnlijk via de aanwezige breuken in het gebied. Aan de randen van het kaartblad zal de inkoling waarschijnlijk te laag zijn geweest voor voldoende gasgeneratie. Inkoling tijdens het Tertiair heeft is onwaarschijnlijk, aangezien er geen relatie is tussen de huidige inkolingsgraad en de huidige diepteligging.

De mogelijke aanwezigheid van koolwaterstoffen in het kaartbladgebied, zal derhalve sterk afhankelijk zijn van de preservatie van structuren uit het Krijt.

### **14.3 Hydrogeologie**

#### **14.3.1 Inleiding**

De regionale grondwaterstroming in het gebied van kaartblad IX wordt beheerst door dominante geomorfologische elementen als de Utrechtse en Gooise Heuvelrug en de Veluwe en de daarin opgebouwde grondwaterlichamen, die vrij afstromen naar de flanken en de diepe poldergebieden in het noorden en westen (*TNO-NITG, 1996*). De Veluwe is qua omvang het grootst en beïnvloedt de grondwatersituatie in een brede zone langs de flanken.

Qua omvang en diepte van doorstroming van dit Veluwe grondwatersysteem zijn er een viertal gebieden te noemen waar een belangrijk deel van het geïnfilterde regenwater uiteindelijk als grondwater aan het maaiveld uittreedt. Het betreft hier de gebieden in het noorden zoals de Flevopolder, het IJsseldal in het oosten, het rivierengebied in het zuiden en de Gelderse Vallei in het westen.

De Utrechtse Heuvelrug is een aanzienlijk kleiner systeem en kent slechts twee hoofdgebieden namelijk de west en zuidwestelijke flank naast het plassen- en rivierengebied en de oostelijke flank mogelijk tot aan de Eem en het Vallei Kanaal waar grondwater aan het maaiveld uittreedt. Als gevolg van het aanleggen van kanalen in het gebied en het peilbeheer in deze en andere waterlopen, de droogmakerijen etc., zijn de grondwaterstromingspatronen danig gewijzigd in de loop der eeuwen. Belangrijk regionale verschuivingen in grondwaterstroming zijn ook veroorzaakt door de aanleg van het Amsterdam-Rijnkanaal, de diepe droogmakerijen ten westen van de Utrechtse Heuvelrug, de aanleg van de Flevopolders en de randmeren.

Het natuurlijke grondwater in het kaartbladgebied bestaat uit een vrijwel niet verontreinigd calcium-bicarbonaat type met wisselende hardheden en lage chloride gehalten onder de stuwwalcomplexen tot in de Tertiaire mariene sedimenten (Formatie van Oosterhout en Breda) onder de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug. Onder de zuidelijke helft van de Flevopolders, met uitzondering van de lagen boven het glaciële bekken in Zuid-Flevoland, is het grondwater tot 100 m diepte nog zoet. Daaronder wordt het brak. Tussen deze typen wordt meestal een overgangszone met een natrium-bicarbonaat type aangetroffen wijzend op verzoetingstendenzen. Vanaf de hogergelegen zandgronden op de stuwwalcomplexen, die fungeren als infiltratiegebieden, neemt de hardheid over het algemeen toe. Antropogene beïnvloeding van het grondwater is duidelijk merkbaar aan typen als  $\text{CaSO}_4$ , CaMix, NaMix etc., die in de vorm van tongen reeds zijn doorgedrongen tot op diepten van meer dan 50 m beneden maaiveld.

#### 14.3.2. Hydrogeologie en belangrijke watervoerende pakketten

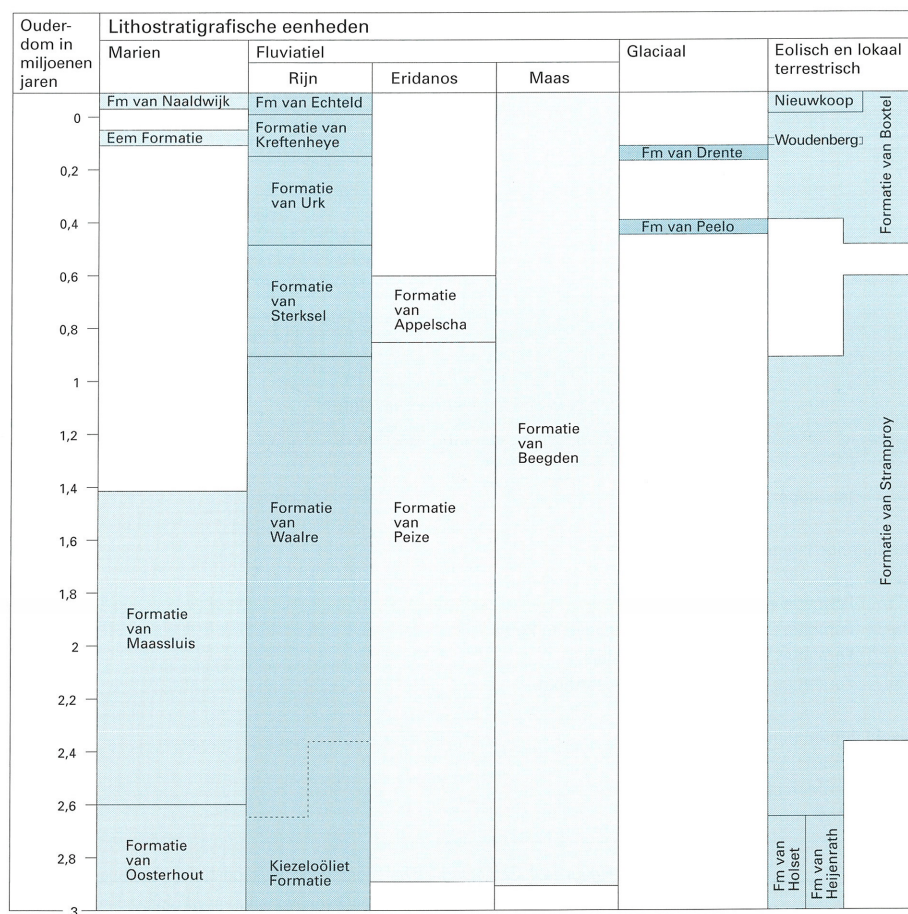
Algemeen geldt dat de geologische opbouw in de ondiepe ondergrond (fig. 14.3) in het kaartbladgebied complex en heterogeen is. Met name de fluviatiele afzettingen daterend uit het Pleistoceen zijn verantwoordelijk voor deze heterogeniteit. Midden-Nederland heeft binnen de invloedssferen gelegen van de rivieren uit het zuiden zoals de Rijn en de Maas en de rivieren vanuit Noord-Duitsland, met als gevolg dat er in een noord-zuid richting zeer langgerekte diachrone veranderingen tussen de formaties zijn gevormd met sterk wisselende lithologieën. In een aantal gevallen is er zelfs materiaal, afgezet door bijvoorbeeld de zuidelijke rivieren, opnieuw verspoeld en geresedimenteerd door de oostelijke rivierstelsels. Verder zijn de grote breuken in het verlengde van het Peel Blok en het Venlo Blok nog actief geweest in het Vroeg- en Midden-Pleistoceen, waardoor er abrupte overgangen in formatiediktes kunnen voorkomen. Diepe glaciële erosiedalen uit de Saalien ijstijd, die tot ruim 100 m beneden het huidige zeeniveau insnijden, zijn naderhand weer opgevuld met kleiige en fijnzandige smeltwaterafzettingen.

Figuur 14.4 toont een west-oost doorsnede door het kaartbladgebied, waarin de kenmerkende geologische structuur het duidelijkst naar voren komt. De belangrijkste pakketten waar grondwater uit gewonnen kan worden behoren tot het Pleistoceen en zij bestaan hoofdzakelijk uit fluviatiele afzettingen met lokaal gestuwde zones. Deze Pleistocene fluviatiele zandige pakketten liggen op de fijnzandige mariene Formatie van Maassluis uit het Vroeg-Pleistoceen. De hydrologische basis wordt gevormd door de daaronder liggende kleiige en fijnzandige Tertiaire mariene afzettingen als de Formaties van Oosterhout en Breda.

De Formatie van Drente, afgezet tijdens de Saalien ijsijd, toen de landijsbedekking een maximum bereikte en stuwwallen zijn gevormd, bevat kleiige afzettingen in de vorm van keileemdekken en gedraagt zich veelal als een scheidende laag voor grondwaterstroming. De formaties van Kreftenheye en Boxtel boven deze keileemafzettingen gedragen zich als watervoerende pakketten, waarbij de tussenliggende kleiige interglaciale Eem Formatie lokaal een scheidende laag vormt. In figuur 14.4 is globaal de geohydrologische schematisatie (watervoerende laagpakketten I t/m IV) aangegeven die meestal gehanteerd wordt bij de ontwikkeling van numerieke grondwaterstromingsmodellen.

Zoals eerder opgemerkt heeft de glaciële erosie tijdens het Saalien de lagenopbouw tot op grote diepte verstoord en zijn er naderhand dikke kleipakketten afgezet in de ijsongebekken, waardoor de stratigrafische opeenvolging is verstoord en de geohydrologische schematisatie niet altijd eenduidig lateraal te vervolgen is. De ingrijpende glaciële processen hebben geleid tot een sterke discontinuïteit en veelvuldige vertanding van kleiige laagpakketten van Kwartaire ouderdom. Ook de kleilagen in de Onder- en Midden-Pleistocene fluviële formaties, waarbij afzetting heeft plaatsgevonden door het ene rivierstelsel en erosie door een ander stelsel, vertonen dergelijke eigenschappen, waarbij kleilagen fungerend als scheidende lagen voor grondwaterstroming zelfs op lokale schaal nog moeilijk te traceren zijn.

Figuur 14.3 Lithostratigrafisch overzicht van de Laat-Tertiaire en Kwartaire afzettingen (naar de Mulder et al., 2003).

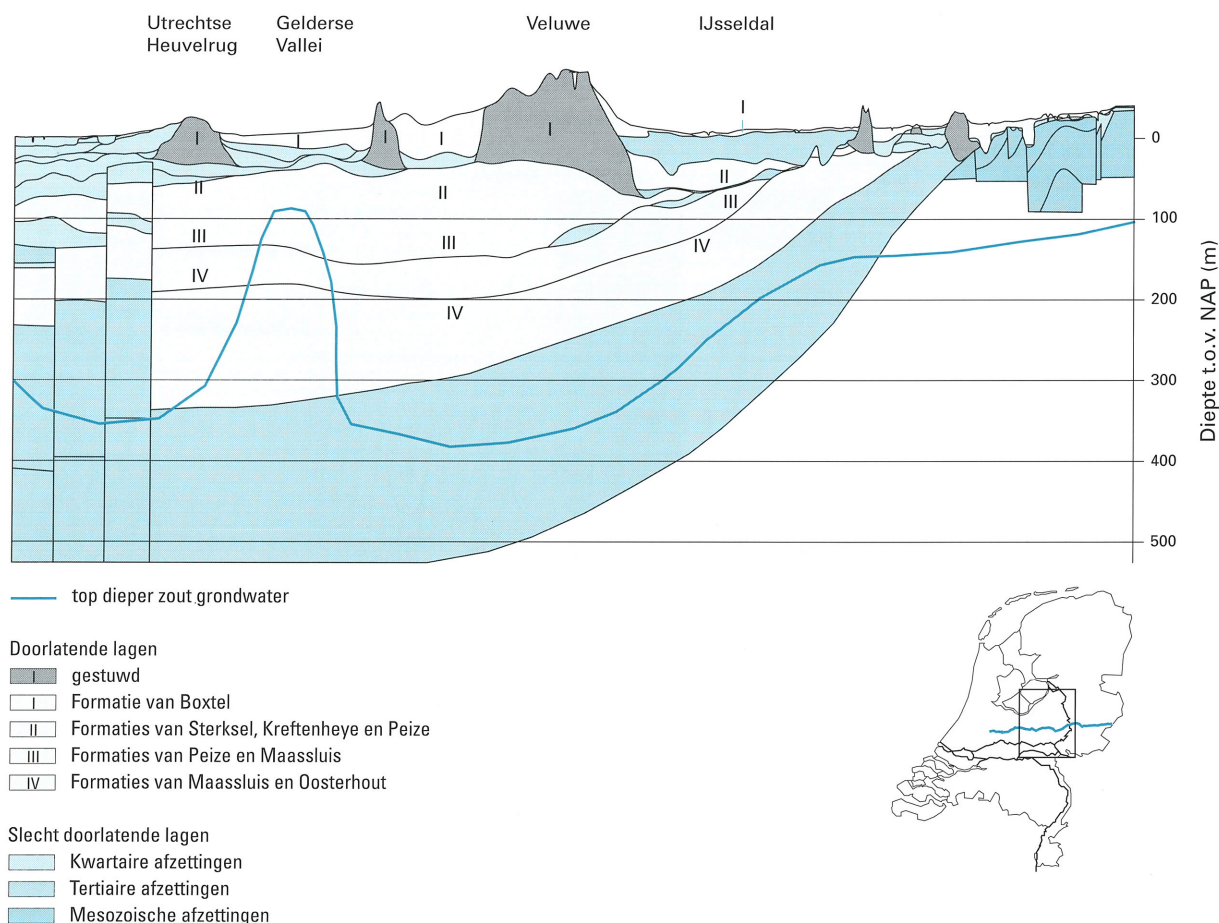




### 14.3.3. Verdeling van zoet en zout grondwater

In figuur 14.4 is globaal de diepteligging aangegeven van het zoet/zout grensvlak (150 mg/l chloride gehalte) van het grondwater. Onder de Veluwe, de Gelderse Vallei en de Utrechtse en Gooise Heuvelrug wordt het vlak op grote diepte gevonden, zelfs op meer dan 300 m onder maaiveld. In gebieden buiten de stuwwalcomplexen, zoals rondom Utrecht-IJsselstein-Culemborg en in het zuidwestelijke gedeelte van Flevoland, wordt het vlak eveneens op grote diepten van meer dan 200 m onder maaiveld gevonden. In Flevoland is de situatie vrij complex vanwege de aanwezigheid van brak en zout water op dieper zoet grondwater als gevolg van de Holocene transgressie. Sterke opwelvingen in het grensvlak worden aangetroffen in het gebied van de grote rivieren, langs de Eem en het Vallei Kanaal en in het IJsseldal ten oosten van de huidige lengte-as van het dal.

De regionale geometrie van het zoet/zout grensvlak hangt nauw samen met de heersende grondwaterstromingsstelsels. De infiltratiegebieden laten een diepe ligging zien van het grensvlak. Gebieden waarin regionale diepe stromingstakken aan het maaiveld komen zoals o.a. langs de Eem, het Vallei Kanaal, langs de Langbroeker Wetering en langs de oostkant van het IJsseldal worden gekenmerkt door opwelvingen

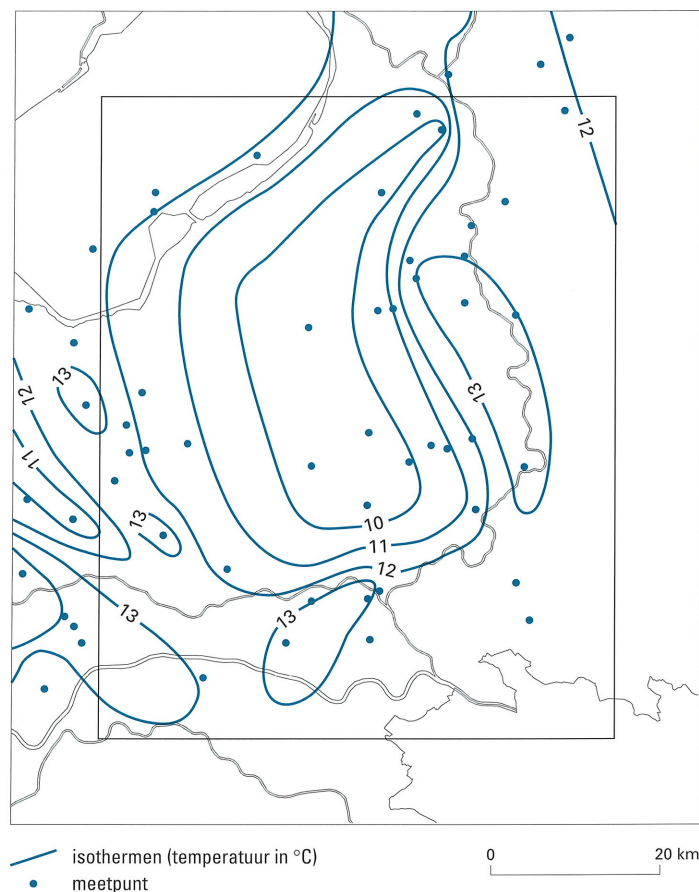


Figuur 14.4 Geologische dwarsdoorsnede (west-oost) door kaartblad IX (zie locatiekaartje) met daarbij aangegeven de globale positie van het zoet/zout grondwater grensvlak (dikke lijn) en de geohydrologische schematisatie (watervoerende pakketten I t/m IV).

van het vlak tot dicht bij het maaiveld. Lokale kegels houden verband met polders met diepe ontwateringspeilen en de grotere grondwaterwinningen. In het gebied van de grote rivieren (tussen Tiel-Rhenen en Nijmegen) komen lokale opwelvingen voor van het vlak die niet in verband te brengen zijn met grondwaterstroming. Waarschijnlijk moeten deze kegels worden toegeschreven aan het opwellen van warmer zout grondwater uit de diepere breuken die in het verlengde van het Peel Blok liggen.

In figuur 14.5 zijn de isothermen weergegeven op een diepte van 125 m beneden maaiveld. In de buurt van de uitloper van het Peel Blok lijkt het patroon van isothermen te duiden op een hogere temperatuur. Andere gebieden met verhoogde temperaturen vallen samen met de regionale kwelgebieden, dus de uiteinden van de grondwaterstroombanen waarbij geothermische opwarming heeft plaatsgevonden tijdens de migratietijd van de diepe stroombanen door de watervoerende pakketten. De gebieden met verhoogde grondwatertemperaturen vallen ook samen met de opwelvingen in het zoet/zout grensvlak. Wellicht is hier sprake van volumetrische compensatie waarbij dieper zout grondwater wordt uitgedreven door de ontwikkeling van de grote zoete grondwaterbellen onder de stuwwalcomplexen. In de infiltratiegebieden zijn de temperaturen daarentegen geheel conform de gemiddelde jaarlijkse temperatuur in Nederland.

Figuur 14.5 Isothermen op 125 m diepte onder maaiveld (geothermische gegevens TNO-NITG).



#### 14.3.4. Regionale grondwatersystemen

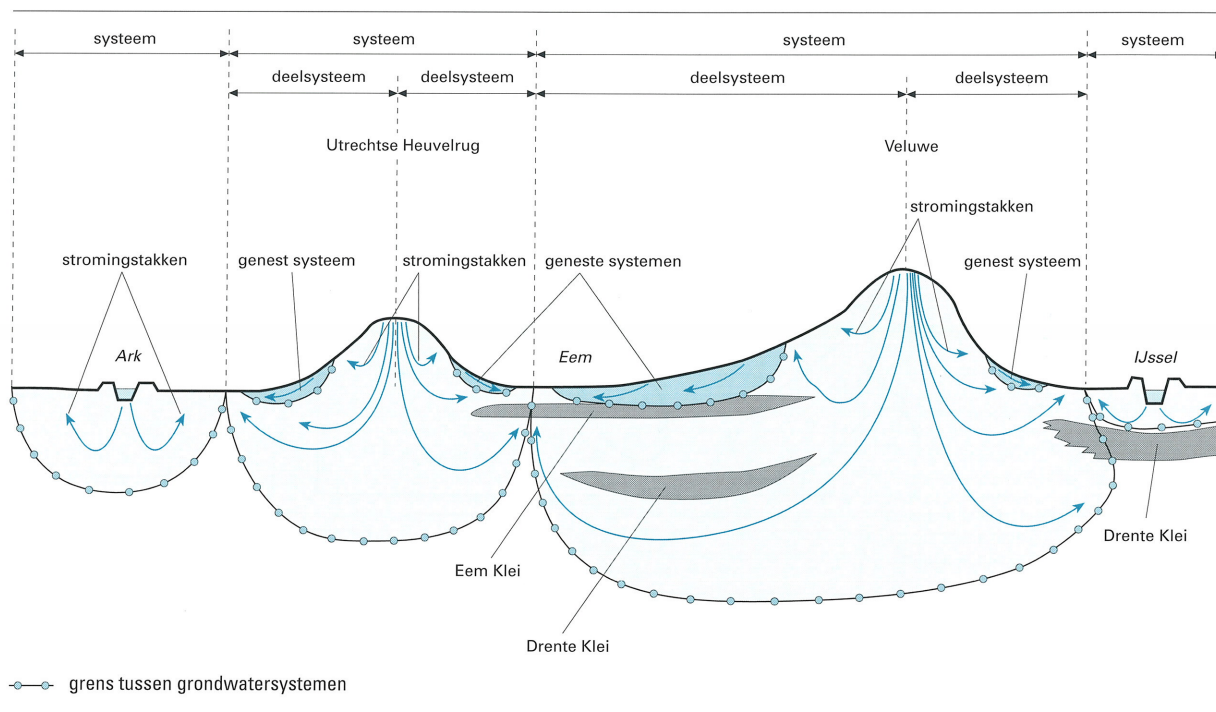
In figuur 14.6 zijn schematisch de grote regionale en geneste (liggend op een groter regionaal systeem) grondwaterstromingssystemen in een dwarsdoorsnede weergegeven. Het zoet/zout grondwater grensvlak, zoals hierboven besproken, wordt praktisch gezien als de onderste begrenzing van het grondwatersysteem. De locaties waar stroomtakken van twee grondwatersystemen aan elkaar grenzen en opwaarts gericht zijn (ook wel de "holle" grondwaterscheiding genoemd) zoals in de Gelderse Vallei en in het IJsseldal vallen samen met de opwelvingen in het zoet/zout grensvlak.

#### 14.4 Thermaal water

##### 14.4.1 Inleiding

In de afgelopen decennia zijn diverse boringen gezet voor winning van thermaal mineraalwater. Grondwater mag mineraalwater worden genoemd als het NaCl-gehalte hoger is dan 1000 mg/l of wanneer een bepaalde norm voor ijzer, jodium, zwavelwaterstof, fluor of andere mineralen wordt overschreden. Deze normen zijn vastgelegd door het Deutschen Bäderverband en het Deutschen Fremdenverkehrsverband (Anonymous, 1979).

In het kaartbladgebied is aan de rand van het Maasbommel Hoog in boring Sanadome-499 bij Nijmegen thermaal mineraalwater aangetroffen, dat voldoet aan de Duitse normen voor Heilwasser.



Figuur 14.6 Schematische weergave van de regionale grondwaterstromingssystemen vanaf het Amsterdam-Rijn Kanaal (Ark) tot en met de IJssel Vallei.



#### **14.4.2 Thermaalbad Sanadome; water uit Vroeg-Tertiair**

De boring Sanadome-499 uit 1994 is aanvankelijk gezet om mineraalrijk water te gaan winnen uit de Laat-Krijt kalken. Op een diepte van 700 tot 755 m werden de sedimenten van de Ommelanden Formatie aangeboord en in plaats van uit krijtkalk, bleken de afzettingen uit grijsgroene mergels van Santonien ouderdom te bestaan. Gezien het hoge kleigehalte waren deze afzettingen ongeschikt als aquifer. De Vroeg-Tertiaire afzettingen die op de Ommelanden Formatie rusten, bleken wel te voldoen. Aan de basis van de Landen Formatie bevindt zich het Heers Laagpakket, dat bestaat uit fijnkorrelige zanden met voldoende permeabiliteit om als aquifer te dienen. Het geproduceerde water valt onder de noemer 'Jodide houdend thermaalsole'. Gezien de vele breuken in de diepe ondergrond en het zeer zoute water ( $\text{Na}^+$  gehalte van 16.880 mg/l en  $\text{Cl}^-$  gehalte van 31.330 ml/g, volgens opgave van Sanadome), is het waarschijnlijk dat het mineraalwater uit dieper gelegen afzettingen afkomstig is. De temperatuur is bij een normale gradient van  $3^\circ/100$  m circa  $33^\circ$  in de producerende laag. Het debiet bedraagt ongeveer 1200 l/p.u.

Een tweede (zoetwater-)bron op een diepte van 70 meter produceert uit twee zandlichamen in de Formatie van Oosterhout; het bronwater, dat als drinkwater wordt gebruikt, heeft een hoog ijzergehalte en een temperatuur van  $12^\circ\text{C}$ .

#### **14.5 Vertech boring**

##### **14.5.1. Inleiding**

In 1992 is in opdracht van VerTech Treatment Systems, nu VAR BV, een boring Apeldoorn-2 gezet tot een diepte van 1272 m. De boring reikt tot in het Laat-Carboon. Het doel van deze boring was een gat te boren met een grote diameter (ca. 44 cm), waarin een installatie gebouwd kan worden voor het milieuvriendelijk verwerken van slib, mest en afvalwater volgens het Vartech procédé. Hierbij wordt o.a. gebruik gemaakt van de natuurlijke fysische omstandigheden in de ondergrond zoals druk en temperatuur.

##### **14.5.2 Natte oxidatieproces**

Vartech verwerkt vloeibare organische afvalstromen in een proces van natte oxidatie, waarbij de vloeibare organische afvalstromen niet eerst ontwaterd (ingedikt) hoeven te worden. Dit procédé brengt een sterke volumereductie tot stand; het residu bedraagt slechts 4%. Het restwater wordt op biologische wijze gezuiverd. Tijdens het proces van natte oxidatie worden in water opgeloste of zwevende stoffen geoxideerd bij een hoge temperatuur ( $180 - 374^\circ\text{C}$ ) en druk ( $40 - 250$  bar) door toevoeging van zuurstof.

Het basisprincipe van het proces is dat de onder deze omstandigheden hogere oplosbaarheid van zuurstof in water de afbraak van organische verbindingen bevordert. De druk moet hoog genoeg zijn om verdamping van water te voorkomen. De reactie moet in de waterfase geschieden daar de betrokken chemische reacties zowel zuurstof (oxidatie) als water (hydrolyse = splitsing onder opname van water) gebruiken. De snelheid waarmee het proces verloopt, wordt voornamelijk bepaald door de temperatuur en de aanwezigheid van katalyserende stoffen zoals ijzer- en koperionen.

Het betreft voornamelijk organische stoffen en die worden omgezet in koolstofdioxide. Een deel van de stoffen wordt gedeeltelijk in lagere vetzuren omgezet die eenvoudig biologisch afbreekbaar zijn.

### 14.5.3 Reactor

De reactor bestaat uit een verticaal concentrisch buizenstelsel in de ondergrond met een lengte van 1280 m. Door de daalbuis gaat de afvalstroom in de reactor naar beneden, waar vervolgens zuiver zuurstofgas aan toe wordt gevoegd en de oxidatiereactie mogelijk maakt. Het as- en watermengsel komt door de stijgbuis weer omhoog. De gemiddelde verblijftijd in de reactor bedraagt circa 45 minuten. De temperatuur en de druk volgen een basisch profiel: aanvoertemperatuur is 20° C, de bodemtemperatuur is 280° C en afvoertemperatuur is circa 85° C. De startdruk is 12 bar, de bodemdruk is 100 bar en de afvoerdruk is 15 bar. Door het gebruik van natuurlijke omstandigheden in de ondergrond vergt het Vartech-principe weinig energie. De slechts in zeer geringe mate vrijkomende koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en de vaste stof die na het proces overblijft, kunnen volledig worden hergebruikt. Hetzelfde geldt voor de warmte die bij het proces vrijkomt.

# Appendices



## Appendix A

### Overzicht gebruikte seismiek

| <i>Survey</i> | <i>Jaar</i>            | <i>Eigenaar</i> | <i>2D/3D</i> |
|---------------|------------------------|-----------------|--------------|
| 30*           | 1965/1988 <sup>1</sup> | NAM             | 2D           |
| 31*           | 1965/1988 <sup>1</sup> | NAM             | 2D           |
| 60*           | 1967/1988 <sup>1</sup> | NAM             | 2D           |
| 7060*         | 1970                   | NAM             | 2D           |
| 7160*         | 1971                   | NAM             | 2D           |
| 7260*         | 1972                   | NAM             | 2D           |
| 7320*         | 1973                   | NAM             | 2D           |
| 7510*         | 1975                   | NAM             | 2D           |
| ANE-78*       | 1978                   | AMC             | 2D           |
| CN80*         | 1980                   | BPE             | 2D           |
| CN81*         | 1981                   | BPE             | 2D           |
| 8134*         | 1981                   | NAM             | 2D           |
| BW81-*        | 1981                   | ELF             | 2D           |
| BW82-*        | 1982                   | ELF             | 2D           |
| ZY83-*        | 1983                   | ELF             | 2D           |
| 84*           | 1984                   | NAM             | 2D           |
| 8430*         | 1984                   | NAM             | 2D           |
| DG84*         | 1984                   | NAM             | 2D           |
| DG85*         | 1985                   | NAM             | 2D           |
| DG86*         | 1986                   | NAM             | 2D           |
| 8601E         | 1986                   | DG              | 2D           |
| HA85-*        | 1985                   | ELF             | 2D           |
| MZ85-*        | 1985                   | MOB             | 2D           |
| MZ86-*        | 1986                   | MOB             | 2D           |
| MZ88-*        | 1988                   | MOB             | 2D           |
| AM86-*        | 1985                   | ELF             | 2D           |
| AM87-*        | 1985                   | ELF             | 2D           |
| Bronkhorst    | 1996                   | NAM             | 3D           |

AMC Amoco Netherlands Petroleum Co.

BPE British Petroleum Exploratie Maatschappij Nederland BV

DG Delft Geophysical

ELF Elf Petroland BV

MOB Mobil Producing Netherlands Inc.

NAM Nederlandse Aardolie Maatschappij BV

\* Willekeurig cijfer

<sup>1</sup> Gereprocessed in 1988

## Appendix B

### Overzicht gebruikte boringen

| No. | Naam boring         | Code      | Eigenaar | Einddiepte (m) | Jaar |
|-----|---------------------|-----------|----------|----------------|------|
| 1.  | Altforst-1          | ALT-01    | BPM      | 654            | 1944 |
| 2.  | Apeldoorn-1         | APN-01    | BPE      | 1553           | 1971 |
| 3.  | Apeldoorn-2         | APN-02    | VERT     | 1278           | 1992 |
| 4.  | Arnhem-1            | AHM-01    | BPM      | 662            | 1944 |
| 5.  | Barneveld-1         | BNV-01    | AMC      | 3066           | 1971 |
| 6.  | Bronkhorst-1        | BKH-01    | NAM      | 2050           | 1999 |
| 7.  | Doornspijk-1        | DSP-01    | NAM      | 2406           | 1964 |
| 8.  | Doornspijk-2        | DSP-02    | NAM      | 1832           | 1966 |
| 9.  | Dronten-1           | DRO-01    | CON      | 2504           | 1965 |
| 10. | Emmerich-1          | EMMR-01   | ELW      | 1449           | 1950 |
| 11. | Epe-1               | EPE-01    | CHE      | 1866           | 1971 |
| 12. | Ermelo-1            | ERM-01    | NAM      | 2650           | 1969 |
| 13. | Gewande-1-S1        | GWD-01-S1 | NAM      | 2324           | 1991 |
| 14. | Gewande-1           | GWD-01    | NAM      | 2355           | 1991 |
| 15. | Haarle-1            | HLE-01    | NAM      | 1747           | 1971 |
| 16. | Hellendoorn-1       | HLD-01    | NAM      | 1486           | 1976 |
| 17. | Hessum-1            | HES-01    | CON      | 2222           | 1968 |
| 18. | IJsselmuiden-1      | IJD-01    | BPE      | 2398           | 1986 |
| 19. | Joppe-1             | JPE-01    | RGD      | 1494           | 1985 |
| 20. | Knardijk-1          | KRD-01    | AMC      | 1524           | 1978 |
| 21. | Langenholte-1       | LNH-01    | NAM      | 2386           | 1977 |
| 22. | Lelystad-1          | LEL-01    | CON      | 2057           | 1970 |
| 23. | Lochem-2            | LOM-02    | BPM      | 1029           | 1944 |
| 24. | Maasbommel-1        | MSB-01    | NAM      | 1713           | 1951 |
| 25. | Maasbommel-2        | MSB-02    | NAM      | 1278           | 1953 |
| 26. | Nijmegen-Valburg-1  | NVG-01    | NAM      | 1277           | 1968 |
| 27. | Ommen-1             | OMM-01    | NAM      | 659            | 1943 |
| 28. | Oost-Flevoland-1    | OFL-01    | NAM      | 2390           | 1965 |
| 29. | Raalte-1            | RAL-01    | BPM      | 685            | 1943 |
| 30. | Raalte-2            | RAL-02    | BPE      | 1679           | 1983 |
| 31. | Sanadome-1 (40C499) | SNM-499   | SAN      | 759            | 1994 |
| 32. | Voorthuizen-1       | VHZ-01    | NAM      | 1773           | 1950 |
| 33. | Wesepe-1            | WEP-01    | BPE      | 1902           | 1985 |
| 34. | Wijhe-1             | WYH-01    | NAM      | 1786           | 1965 |
| 35. | Zeddam-1            | ZED-01    | NAM      | 1965           | 1954 |
| 36. | Zeewolde-1          | ZEW-01    | CON      | 2000           | 1966 |
| 37. | Zwolle-1            | ZWO-01    | NAM      | 1058           | 1965 |

|     |                                                        |
|-----|--------------------------------------------------------|
| AMC | Amoco Netherlands Petroleum Co.                        |
| BPE | British Petroleum Exploratie Maatschappij Nederland BV |
| BPM | Bataafse Petroleum Maatschappij                        |
| CHE | Chevron                                                |
| CON | Continental Netherlands Oil Co.                        |
| ELW | Elwerath                                               |

|      |                                      |
|------|--------------------------------------|
| NAM  | Nederlandse Aardolie Maatschappij BV |
| RGD  | Rijks Geologische Dienst             |
| SAN  | Sanadome Onroerendgoed BV            |
| VERT | VerTech Treatment Systems            |



# Referenties

- Andrews, J.T. (ed.) (1974) *Glacial Isostasy*. In: Benchmark Papers in Geology, 10, 491 pp.
- Anonymous (1979) *Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen vom Juni 1979*. Deutschen Bäderverband e.V. und Deutschen Fremdenverkehrsverband e.V.
- Baldschuhn, R., Best, G. & Kockel, F. (1991) *Inversion tectonics in the Northwest German Basin*. In: Generation, accumulation and production of Europe's hydrocarbons (Spencer, A.M., ed.), Spec. Publ. E.A.P.G., No. 1, Oxford University Press, p. 149-159.
- Bless, M.J.M., Bouckaert, J., Calver, M.A., Graulich, J.M. & Paproth, E. (1977) *Palaeogeography of Upper Westphalian deposits in NW Europe with reference to the Westphalian C north of the mobile Variscan Belt*. Meded. Rijks Geol. Dienst, 28-5, p. 101-147.
- Bless, M.J.M., Bouckaert, J., Conil, R., Groessens, E., Kasig, W., Paproth, E., Poty, E., Van Steenwinkel, M., Streel, M. & Walter, R. (1980) *Pre-Permian depositional environments around the Brabant Massif in Belgium, the Netherlands and Germany*. Sed. Geol., 27, p. 1-81.
- Bijlsma, S. (1981) *Fluvial sedimentation from the Fennoscandian area into the North-west European Basin during the Late Cenozoic*. Geol. Mijnbouw, 60, p. 337-345.
- 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.
- Daly, R.A. (1934) *The Changing World of the Ice Age*. Yale University Press. 271 pp.
- De Boorder, H., Lutgert, J.E. & Nijman, W. (1985) *The Muschelkalk and its lead-zinc mineralisation in the eastern Netherlands*. Geol. Mijnbouw, 64, p. 311-326.
- De Gans, W., Th. de Groot en H. Zwaan (1987) *The Amsterdam basin, a case study of a glacial basin in The Netherlands*. In: *Tills and Glaciotectonics* (van der Meer, J.J.M., ed.). Balkema, Rotterdam. p. 205-216.
- De Gans, W. (1995) *Een geologisch overzichtsprofiel van Ridderkerk naar Urk*. Grondboor en Hamer, 49 (3/4), p. 90-93.
- De Mulder, E.F.J., Geluk, M.C., Ritsema, I., Westerhoff, W.E. & Wong Th.E. (2003) *De ondergrond van Nederland*. Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek TNO, Delft, 379 pp.
- Donovan, D.T. & Jones E.J.W. (1979) *Causes for world-wide changes in sea level*. Journ. Roy. Soc. London, 136, p. 187-192.
- Drozdewski, G. (1992) *Zur Faziesentwicklung im Oberkarbon des Ruhrbeckens, abgeleitet aus Mächtigteitskarten und lithostratigraphische Gesamtprofilen*. Z. angew. Geol., 38, p. 41-48.
- Drozdewski, G. (1993) *The Ruhr coal basin (Germany): structural evolution of an autochthonous foreland basin*. Int. Journ. of Coal Geology, 23, p. 231-250.
- Drozdewski, G. & Zeller M. (1998) *War der Krefelder Achsenauwölbung im Oberkarbon ein Hochgebiet?* Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 37, p. 459-473.
- Drozdewski, G., Klostermann, J., Ribbert, K.-H., Wrede, V. & Zeller, M. (1998) *Sedimentation und Tektonik im Paläozoikum und Postpaläozoikum der Niederrheinischen Bucht*. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 37, p. 573-583.
- Elberskirch, W. & Wolburg, J. (1962) *Zur Tektonik des Karbons am linken Niederrhein im Profil der Bohrungen Wachtendonk 1 - Emmerich 1*. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. 6, p. 407-432.
- Faber, F.J. (1926) *Geologie van Nederland*. Nederlandse Bibliotheek, 468 pp.

- Geluk, M.C., Plomp, A. & Van Doorn, Th.H.M. (1996) *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*, Kluwer, Dordrecht, p. 57-78.
- 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, 28th August-2nd September 1995, Krakow, Poland, Prace Panstwowego Instytut Geologicznego CLVII, part 2, Warszawa, p. 63-75.
- Geluk, M.C. & Röhling, H.-G. (1997) *High-resolution sequence stratigraphy of the Lower Triassic 'Buntsandstein' in the Netherlands and north-western Germany*. Geol. Mijnbouw, 76, p. 227-246.
- Geluk, M.C. (1999a) *Late Permian (Zechstein) rifting in the Netherlands - models and implications for petroleum geology*. Petroleum Geoscience, 5 (2), 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*, Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, 7-8, p. 727-745.
- Glennie, K.W. (1983) *Lower Permian Rotliegend desert sedimentation in the North Sea area*. In: Developments in Sedimentology 38 (Brookfield, M.E. & Ahlbrandt, T.S. eds.), Elsevier, Amsterdam, p. 521-541.
- Glennie, K.W. (1986) *Early Permian - Rotliegend*. In: *Introduction to the Petroleum Geology of the North Sea* (Glennie, K.W. ed.), Blackwell Scient. Publ., Oxford, 2<sup>nd</sup> ed. p. 25-62.
- Gras, R. (1995) *Late Cretaceous sedimentation and tectonic inversion, southern Netherlands*. Geol. Mijnbouw, 74, p. 117-127.
- Gras, R. & Geluk, M.C. (1999) *Late Cretaceous - Early Tertiary sedimentation and tectonic inversion in the southern Netherlands*. Geol. Mijnbouw, 78, p. 1-19.
- Hancock, J.M. & Scholle, P.A. (1975) *Chalk of the North Sea*. In: *Petroleum and the continental shelf of North West Europe* (Woodland, A.W. ed.), Vol. 1, Geology, Appl. Sc. Publ., Barking, p. 413-427.
- Haq, B.U., Hardenbol, J. & Vail, P.R. (1987) *Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic*. Science, 235, p. 1156-1167.
- Haq, B.U., Hardenbol, J. & Vail, P.R. (1988) *Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change*. In: Wilgus, C.K., Hastings, B.C., Kendall, C.G.S.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A. & Van Wagoner, J.C. (eds.): *Sea-level changes - An integrated approach*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Spec. Publ. 42, p. 71-108.
- Harland, W.B., Armstrong, R.L., Cox, A.V., Craig, L.E., Smith, A.G. & Smith, D.E. (1990) *A geological time scale 1989*. Cambridge University Press, 263 pp.
- Harsveldt, H.M. (1973) *The Middle Triassic limestone (Muschelkalk) in the Achterhoek (E. Gelderland)*. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen., 29, p. 43-50.
- Herngreen, G.F.W. & De Boer, K.F. (1974) *Palynology of the Rhaetian, Liassic and Dogger strata in the Eastern Netherlands*. Geol. Mijnbouw, 53, p. 343-368.
- Herngreen, G.F.W., Kerstholt, S.J. & Munsterman, D.K. (2000) *Callovian-Ryazanian ('Upper Jurassic') palynostratigraphy of the Central North Sea Graben and Vlieland Basin, the Netherlands*. Meded. Ned. Inst. Toegep. Geowet. TNO, 63, 99 pp.
- Hoedemaker P.J. & Herngreen, G.F.W. (2003) *Correlation of Tethyan and Boreal Berriasian - Barremian strata with the emphasis on strata in*



*the subsurface of the Netherlands*. Cretaceous Research, 24, p. 253-275.

Lambeck, K. (1995) *Late Devensian and Holocene shorelines of the British Isles and North Sea from models of glacio-hydroisostatic rebound*. Journ. Geol. Soc. London, 152: p. 1-22.

Lambeck, K., Smither C. & Johnston, P. (1998) *Sea-level change, glacial rebound and mantle viscosity for northern Europe*. Geophysical Journal International, 134: p. 102-144.

Letsch, W.J. & Sissingh, W. (1983) *Tertiary stratigraphy of the Netherlands*. Geol. Mijnbouw, 62, p. 305-318.

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

NITG-TNO (1998) *Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland: Toelichting bij Kaartblad X Almelo-Winterswijk*. NITG-TNO, Haarlem, 143 pp.

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 south-eastern 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., Dörholt, W. & Greiner, G. (1982) *Das Krefelder Gewölbe in der Niederrheinischen Bucht – Teil einer grossen*

*Horizontalverschiebungszone?* Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 30, p. 15-29.

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

Rijks Geologische Dienst (1977) *Geologische Kaart van Nederland 1:50 000, Blad Arnhem Oost (40)*. Haarlem, 146 pp.

Rijks Geologische Dienst (1984) *Geologische Kaart van Nederland 1:50 000, Blad Tiel Oost en West. (390/W)*. Haarlem, 335 pp.

Rijks Geologische Dienst (1993a) *Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, Toelichting bij kaartblad IV: Texel-Purmerend*. Haarlem, 128pp.

Rijks Geologische Dienst (1993b) *Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, Toelichting bij kaartblad V: Sneek-Zwolle*. Haarlem, 126 pp.

Scotese, C.R (1991) *Jurassic and Cretaceous plate tectonic reconstructions*. Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol., 87, p. 493-501.

Scotese, C.R. & McKerrow, W.S. (1990) *Revised world maps and introduction*. Mem. Geol. Soc. London, 12, p. 1-21.

Selter, V. (1990) *Sedimentologie und Klimaentwicklung im Westfal C/D und Stephan des nordwestdeutschen Oberkarbon-Beckens*. DGMK-Bericht 384-4, Hamburg, 311 pp.

Sissons, J.B. & R.Cornish (1982) *Differential glacio-isostatic uplift of crustal blocks at Glen Roy, Scotland*. Quaternary Research, 18, p. 268-288.

Stancu-Kristoff, G. & Stehn, O. (1984) *Ein großregionaler Schnitt durch das nordwestdeutsche Oberkarbon-Becken vom Ruhrgebiet bis in der*

Nordsee. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf. 32, p. 35-38.

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

Taylor, J.C.M. (1986) *Late Permian - Zechstein*. In: *Introduction to the Petroleum Geology of the North Sea* (Glennie, K.W. ed.), Blackwell Scientific Publ., Oxford, 2<sup>nd</sup> ed., p. 86-111.

Teunissen, D. (1961) *Het Midden Nederlandse Heuvelgebied*. Ph.D thesis Utrecht University, 154 pp.

TNO-NITG (2001) *Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland. Toelichting bij kaartbladen XIII en XIV: Breda-Valkenswaard en Oss-Roermond*. Utrecht, 149 pp.

TNO-NITG (2001) *Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland. Toelichting bij kaartbladen VII en VIII: Noordwijk-Rotterdam en Amsterdam-Gorinchem*. Utrecht, 135 pp.

Törnqvist, T.E., Wallinga, J., Murray, A.S., De Wolf, H., Cleveringa, P. & De Gans, W. (2000) *Response of the Rhine-Meuse system (west-central Netherlands) to the last Quaternary glacio-eustatic cycles: a first assessment*. Global and Planetary Change, 27, p. 89-111.

Vail, P.R., Mitchum, R.M. Jr. & Todd, R.G. (1977) *Eustatic model for the North Sea during the Mesozoic*. N.P.F. Mesozoic Northern North Sea Symposium, Oslo, p. 1-12.

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 Balen, R.T., Houtgast, R.F. & Cloetingh, S.A.P. (in press) *Neotectonics in the Netherlands, a review*. Quaternary Science Reviews.

Van den Berg, M.W. & Beets, D.J. (1987) *Saalian glacial deposits and morphology in The Netherlands*. In: *Tills and Glaciotectonics in The Netherlands* (Van der Meer, J.J.M. ed.), Balkema, Rotterdam, p. 235- 251.

Van den Berg, M.W. (1994) *Neotectonics of the Roer Valley rift system. Style and rate of crustal deformation inferred from syn-tectonic sedimentation*. Geol. Mijnbouw, 73, p. 143-156.

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 Wateren, F.M. (1995) *Structural geology and sedimentology of push moraines*. Meded. Rijks Geol. Dienst, 54, p. 1-168.

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, 1, p. 167-186.

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.

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

Wolburg, J. (1957) *Ein Querschnitt durch den Nordteil des niederrheinischen Zechsteinbeckens*. Geol. Jb., 73, p. 7-38.

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, 198 pp.

Ziegler, P.A. (1989) *Evolution of Laurussia - A study in Late Paleozoic Plate Tectonics*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 102 pp.

Ziegler, P.A. (1990) *Geological Atlas of Western and Central Europe, second and completely revised edition*. Shell Internationale Petroleum Maatschappij, The Hague, The Netherlands, 239 pp., 56 encl.



- NITG-TNO, 1999, Herngreen, G.F.W. *Palynologisch onderzoek van boring Voorthuizen-1, traject 1080-1753 m*. NITG-99-107-B.
- RGD, 1974, Herngreen, G.F.W. *Resultaten van het palynologisch onderzoek van boring KA-27 (IJsselmeer-1)*. Rapport Micropal. Mesozoïcum no. 2088a.
- RGD, 1975, Bless, M.J.M. *Palynologisch onderzoek van diepboring Apeldoorn 1 (BP)*. Rapport no. GB1453.
- RGD, 1981, Ruegg, G.H.J. *Sedimentologisch onderzoek in de meest oostelijke groeven van de Schelpkalk bij Winterswijk*. Rapport Sed. no. 63.
- RGD, 1983, *Geologische en Hydrogeologische inventarisatie van Tertiaire en Onder-Kwartaire afzettingen in Midden-Nederland t.b.v. ondergrondse opslag en winning van warm water*. Rapport no.83KAR20EX, project BP10371.
- RGD, 1985, Van Amerom, H.W.J., Meessen, J.P.M.Th & Glerum, J.J. *Rapport over mariene niveaus in diepboring Joppe-1*. Rapport no. GB2091.
- RGD 1986a, Van Amerom, H.W.J., Meessen, J.P.M.Th & Glerum, J.J. *Rapport over de niet-mariene niveaus in diepboring Joppe-1*. Rapport no. GB2093.
- RGD, 1986b, Krans, Th.F. *Eindrapport Project Inventarisatieonderzoek Nederlands Kolenvoorkomens, eerste fase 1981-1985*. Rapport no. GB2107.
- RGD, 1987a, Van Amerom, H.W.J. *Rapport betreffende de makroflora van diepboring Joppe*. Rapport no. GB2184.
- RGD, 1987b, Jegers, L.F. *Koolpetrografische en chemische gegevens van diepboring Joppe-1*. Rapport no. GB2193.
- RGD, 1989, Schokking, F. *De invloed van een landijsbedekking op de stijgsnelheid van zoutpijlers*. Rapport no. 30010C, 57 pp.
- RGD, 1990, Herngreen, G.F.W. *Samenvatting van de micropaleontologische en palynologische onderzoeksresultaten van Boring Dronten-1*. Rapport no. 2233.
- RGD, 1992, Van de Laar, J.G.M. *Palynologisch onderzoek van enkele monsters uit de Vertech boring (Apeldoorn)*. Rapport no. GB2390.
- RGD, 1995, Van de Laar, J.G.M. *Palynologisch onderzoek van het Karboon van boring Zeddam-1*. Rapport no. GB2478.
- TNO, 1996. *Landelijke Hydrologische Systeemanalyse. Deelrapport 2. Deelgebied Midden-Nederland. De regionale grondwaterstromingsstelsels rond de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug*. NITG-OS-93-41B.
- TNO-NITG, 2000, Van Leeuwen, R.J.W., Ebbing, J.H.J., De Lang, F.D., Mijnlief, H.F. & Verbeek, J.W. *Naar een geïntegreerde stratigrafie - Het Tertiair*. NITG-00-214-A.
- TNO-NITG, 2001, Doornenbal, J.C. *Regionale snelheidsmodellen van het Nederlandse territoire*. NITG-01-116-B.
- TNO-NITG, 2002a, Herngreen, G.F.W. *Palynologisch onderzoek van het interval 1516-1557m van de boring Barneveld-1*. NITG-02-043-B.
- TNO-NITG, 2002b, Verreusel, R.M.C.H. *Palynostratigrafie van interval 1080m - 1095m uit de boring Epe-01*.
- TNO-NITG, 2004, Heesakkers, V.M.J. *De evolutie van structurele elementen van de diepe ondergrond van Nederland*. NITG-04-015-B0105.
- TNO-NITG, 2004, Van Leeuwen, R.J.W., Rijdsdijk, K.F., Weerts, H.J.T., Ebbing, J.H.J. & Laban, C. *Naar een geïntegreerde stratigrafie - Het Kwartair*. NITG-02-044-A.

**Geologische kaarten:**

*De kaarten zijn samengesteld door*

E.J.Th. Duin  
C.M. Elmers-Kathmann  
J.C. Doornenbal

**Toelichting:**

*De toelichting is geschreven door*

N. Witmans  
E.J.Th. Duin  
J.C. Doornenbal  
F. van Bergen  
F.H. Kloosterman  
W. de Gans

*Biostratigrafie*

G.F.W. Herngreen  
R.M.C.H. Verreusel

*Figuren*

J.M. Rietstap  
N. Witmans

*Redactionele ondersteuning*

Th.E. Wong  
R.J. van Leeuwen  
J.C. Doornenbal  
M.C. Geluk  
G.F.W. Herngreen

*Vormgeving*

BRS Premsela Vonk, Amsterdam  
J.A.M. Bruinenberg

*Druk*

n.v. Peeters s.a., Herent, België

**Algehele leiding:**

H.J.M. Pagnier

*Copyright (c) 2004*

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 veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of anderszins. Deze restrictie geldt eveneens voor de gehele of gedeeltelijke bewerking van kaarten en profielen. De uitgever is met uitsluiting van ieder ander gerechtigd de door derden verschuldigde vergoedingen van kopiëren, als bedoeld in artikel 17 lid 2, Auteurswet en in het K.B. van 20 juni 1974 (Stb. 351) ex artikel 16b Auteurswet 1912, te innen en/of daartoe in en buiten rechte op te treden.

ISBN 90-72869-69-9

TNO-NITG, 2004 - Geologische Atlas van de Diepe Ondergrond van Nederland, Toelichting bij kaartblad IX: Harderwijk-Nijmegen.

Deze publicatie is eveneens verkrijgbaar in een Engelstalige versie, ISBN 90-72869-70-2.  
This publication is also available in English, ISBN 90-72869-70-2.







